

# Variaciones en la morfología del artefacto de estimulación del marcapaso

Dres. BERNARDO BENIGNO LOZADA (h.) y ALEJANDRO DUSSAUT (h.)

## RESUMEN

A fin de conocer cómo se modifican los oscilogramas normales de distintos tipos de generadores en diferentes estadios patológicos, fueron estudiados 147 pacientes, 3 de ellos con marcapasos Cordis, 56 con Medtronic, 21 Devices y 67 con generadores Stanium.

Por otra parte, se efectuaron análisis osciloscópicos experimentales en este mismo tipo de generadores, trabajando contra resistencias variables o con algún tipo de circuito externo, intentando reproducir las alteraciones observadas clínicamente.

Así pudieron determinarse:

1º) Criterios de normalidad y clasificación de los distintos tipos de generadores.

2º) Cambios de la amplitud debidos a variación en la proyección vectorial.

3º) Cambios en la pendiente o en la duración del "plateau".

4º) Anormalidades en la diferenciación de las ondas.

Sobre estas bases, se discuten los resultados obtenidos clínica y experimentalmente, enfatizando sobre la utilidad diagnóstica del método.

El análisis osciloscópico de la espiga de marcapasos implantados ha demostrado tener cierta utilidad en el control y seguimiento de los pacientes portadores. Las alteraciones que pueden observarse en cuanto a frecuencia de los impulsos, duración de los mismos, tensión y corriente entregadas por el marcapasos, y otros valores numéricos, han sido comentadas por diversos autores (1, 2, 3).

El objetivo del presente trabajo es determinar la morfología con que este artefacto aparece, estableciendo criterios

---

Centro Especializado de Marcapasos, Independencia 947, Capital.

de normalidad y relacionar las variaciones observadas con distintos estadios patológicos, al intentar reproducir experimentalmente lo observado en la clínica.

#### MATERIAL Y METODOS

Para efectuar los controles se utilizó un analizador osciloscópico de espiga con intervalómetro y unidad de computación digital (Equipo SUSI (R). Este sistema consta de un osciloscopio de alta velocidad de barrido (15.000 m/seg) con autodesparo del haz sincronizado al artefacto de estimulación, al cual se halla conectada una unidad de computación digital que informa los valores de frecuencia, duración, tensión y corriente de cada impulso.

Una cámara polaroid permite obtener fotografías directamente de la pantalla osciloscópica (3).

El trabajo efectuado fue dividido en 2 fases: una clínica y otra experimental. En la primera, la conexión a paciente se hizo utilizando la misma derivación electrocardiografía para cada paciente a lo largo de todo el estudio. Estas derivaciones fueron las bipolares standard. En cada caso se obtuvo por lo menos una fotografía de la espiga con los mismos rangos de velocidad de barrido y ganancia.

Fueron controlados 147 pacientes; portadores de marcapasos Cordis (3 casos), Devices (21 casos), Medtronic (56 casos) y Stanium (67 casos), durante 18 meses consecutivos sin signos de agotamiento, cada 30 días. Algunos generadores eran asincrónicos y otros ventriculosincronizados, pero en todos los casos se efectuó el control únicamente mientras el generador regulaba espontáneamente (para el caso de los de demanda), y cuando no existía ritmo competitivo (en los fijos).

En cuanto a la fase experimental, fue realizada conectando el generador sin cateter directamente al analizador, e intentando reproducir las condiciones de funcionamiento patológico observadas con anterioridad. Para ello se utilizaron indistintamente: a) un selector de resistencias variables de 0 a 1.000 ohms adosado al sistema analizador y b) un circuito tipo "filtro pasa-bajos", interpuesto entre la fuente de poder y el analizador.

En cada uno de los oscilogramas así obtenidos se determinó:

- 1º) amplitud máxima,
- 2º) amplitud a los 0,5 milisegundos de iniciado el pulso,
- 3º) amplitud mínima,
- 4º) amplitud de cierre (en general coincidente con la anterior),
- 5º) pendiente,
- 6º) "plateau" o mesetas de mantenimiento o limitación de corriente,
- 7º) duración del impulso,
- 8º) relación entre la duración de la meseta y la duración total,
- 9º) otras diferenciaciones de la onda de estimulación, y
- 10º) coincidencia de los parámetros en espigas sucesivas, todos elementos que hacen finalmente a la **morfología** del artefacto de estimulación.

#### RESULTADOS

**Morfologías normales:** Se encontraron morfologías que fueron clasificadas como normales (4) en 140 pacientes.

Los criterios empleados para determinar la normalidad fueron:

Para los marcapasos **Cordis** (3 casos):

1) amplitud máxima, a los 0,5 mseg y mínima o de cierre, sin diferencias entre sí, determinando una pendiente inexistente.

2) presencia de una meseta de mantenimiento de corriente durante todo el ancho del pulso.

3) duración igual a la programada,

4) relación meseta/duración total = 1/1.,

o sea, onda cuadrada no diferenciada, coincidentes durante 10 ciclos (fig. 1).

Para los marcapasos **Devices y Medtronic** (21 y 54 enfermos respectivamente):

1) amplitud máxima inicial, mayor que a los 0.5 mseg y ésta a su vez mayor que la de cierre, que es la mínima, determinándose una pendiente que se expresa en porcentaje

$$\frac{(\text{Amp. máx.} - \text{Amp. mín.}) \times 100}{\text{Amp. máx.}}$$

y que es entre 60 y 65 %.

2) No hay meseta de limitación ni constancia de corriente.

3) Duración igual a la especificada.

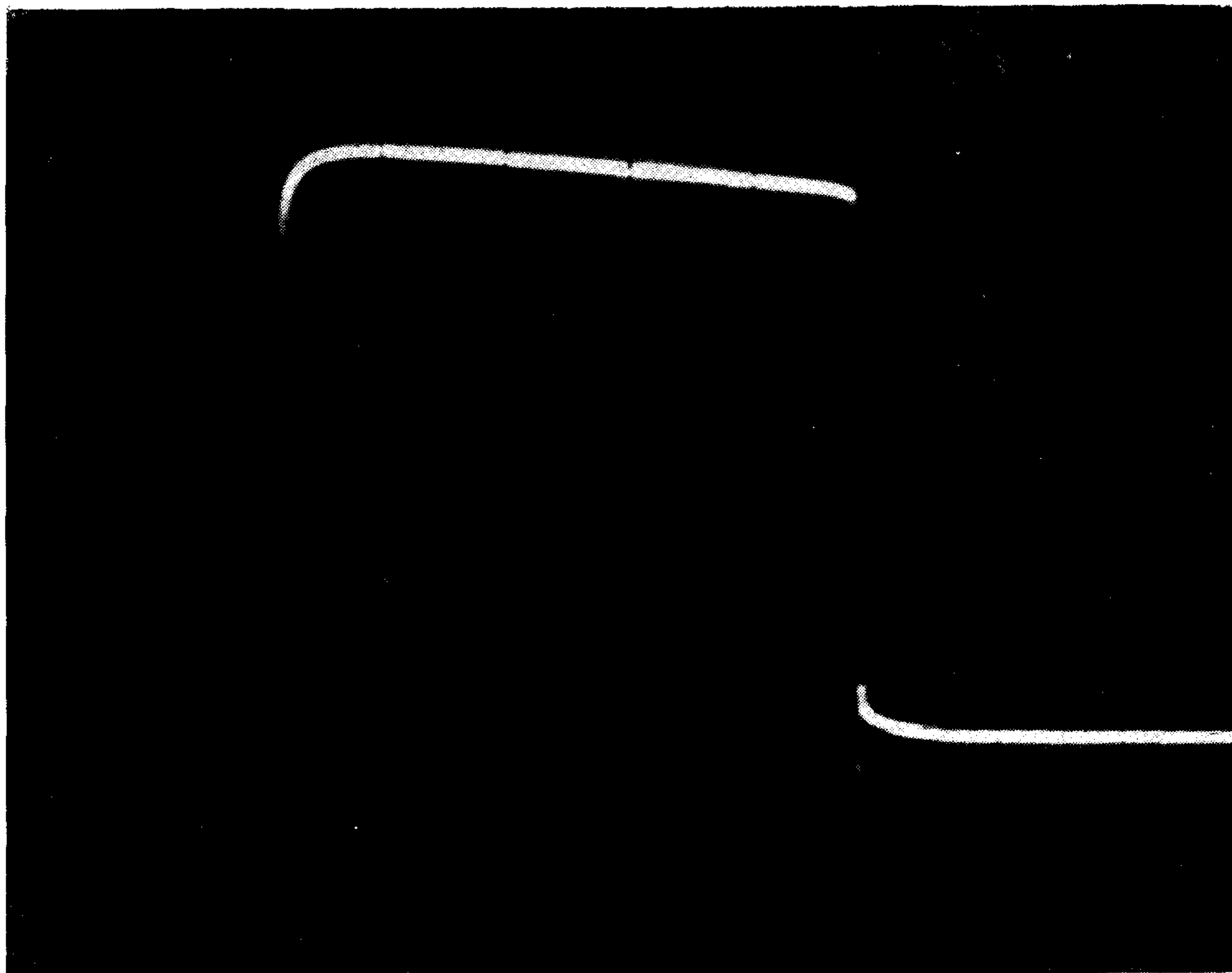


Fig. 1. — Espiga de morfología normal de un marcapasos de corriente constante.

4) Relación duración meseta/duración total = 0/1.

o sea, onda cuadrada diferenciada por caída exponencial de la corriente, coincidentes durante 10 ciclos (fig. 2).

En cuanto a los marcapasos **Stanium** (62 casos), los criterios de normalidad fueron:

1) Amplitud máxima, igual que a los 0,5 milisegundos pero mayor que la de cierre.

2) Presencia de una meseta de limitación de corriente, a la cual le sigue una pendiente que oscila entre 75 y 80 %.

3) Duración de pulso similar a la especificada.

4) Relación meseta/duración total aproximadamente 2/3.

o sea, onda cuadrada diferenciada por meseta de limitación de corriente y posterior pendiente exponencial, invariable durante 10 ciclos (fig. 3).

**Morfologías anormales:** Fueron detectados 7 casos, que se intenta agrupar como sigue:

1) **Modificaciones cíclicas sucesivas de la amplitud** máxima y mínima en forma proporcional, sin alteraciones de la pendiente o del "plateau", ni modificación de las duraciones totales o parciales.

Fueron hallados 4 casos de esta morfología, 3 de ellos en marcapasos Stanium y 1 en marcapaso Medtronic.

En la fotografía N° 4 se observan oscilogramas correspondientes a un marcapasos Stanium, mostrando espigas con diferentes amplitudes pero con igual línea de base y morfología general, obtenidas en apnea inspiratoria.

2) **Modificaciones de la duración del "plateau"** y su relación con la duración total, o **modificaciones de la pendiente**, sin mayores variaciones en las amplitudes máxima y mínima. Fue observado clínicamente un solo caso en un generador Stanium (fig. 5).

Los oscilogramas seriados mostraron la prolongación de la meseta de limitación de corriente y el aumento de la relación entre la duración de ésta y la duración total del impulso. Puede obser-

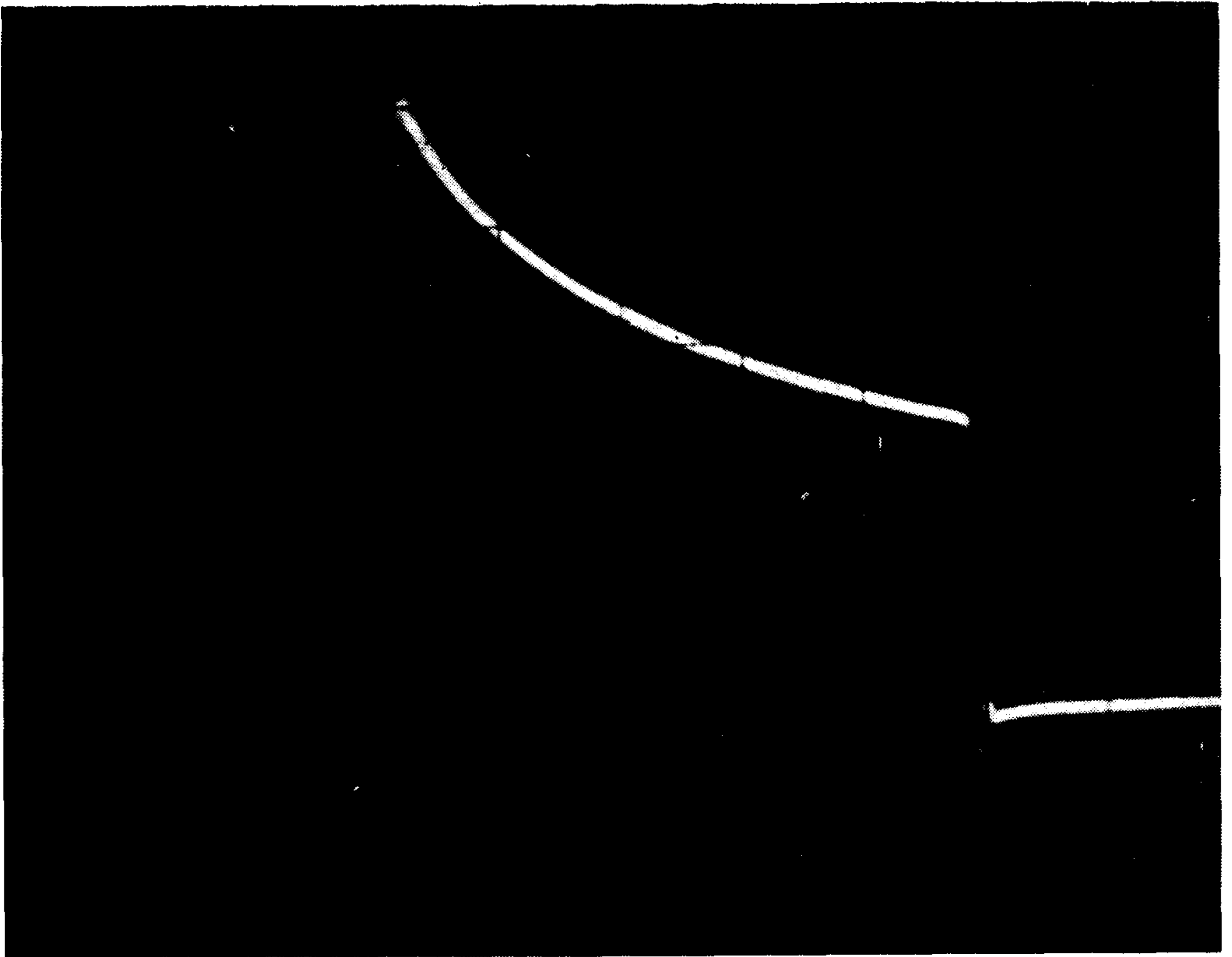


Fig. 2. — Espiga de morfología normal de un marcapasos de voltaje constante.

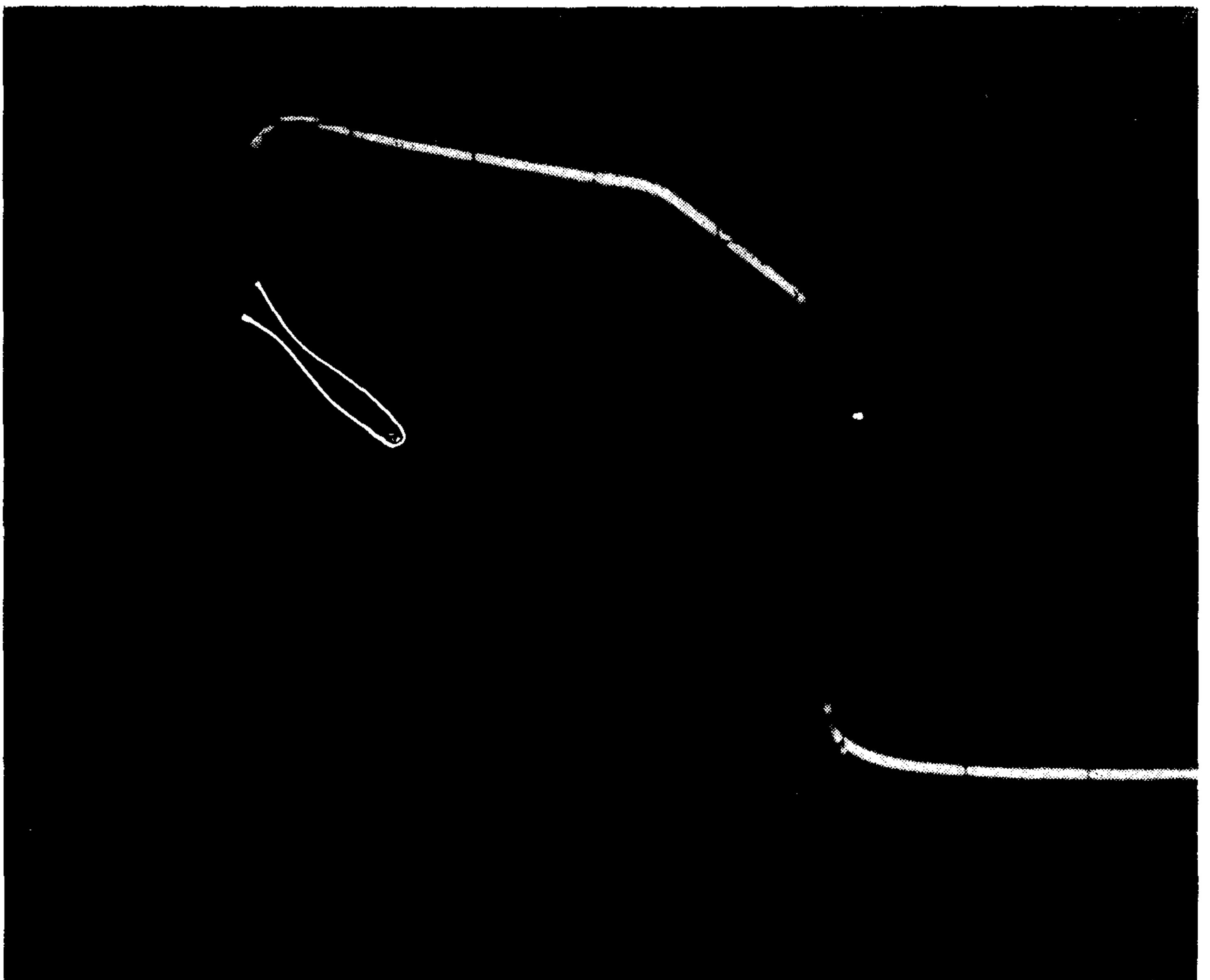
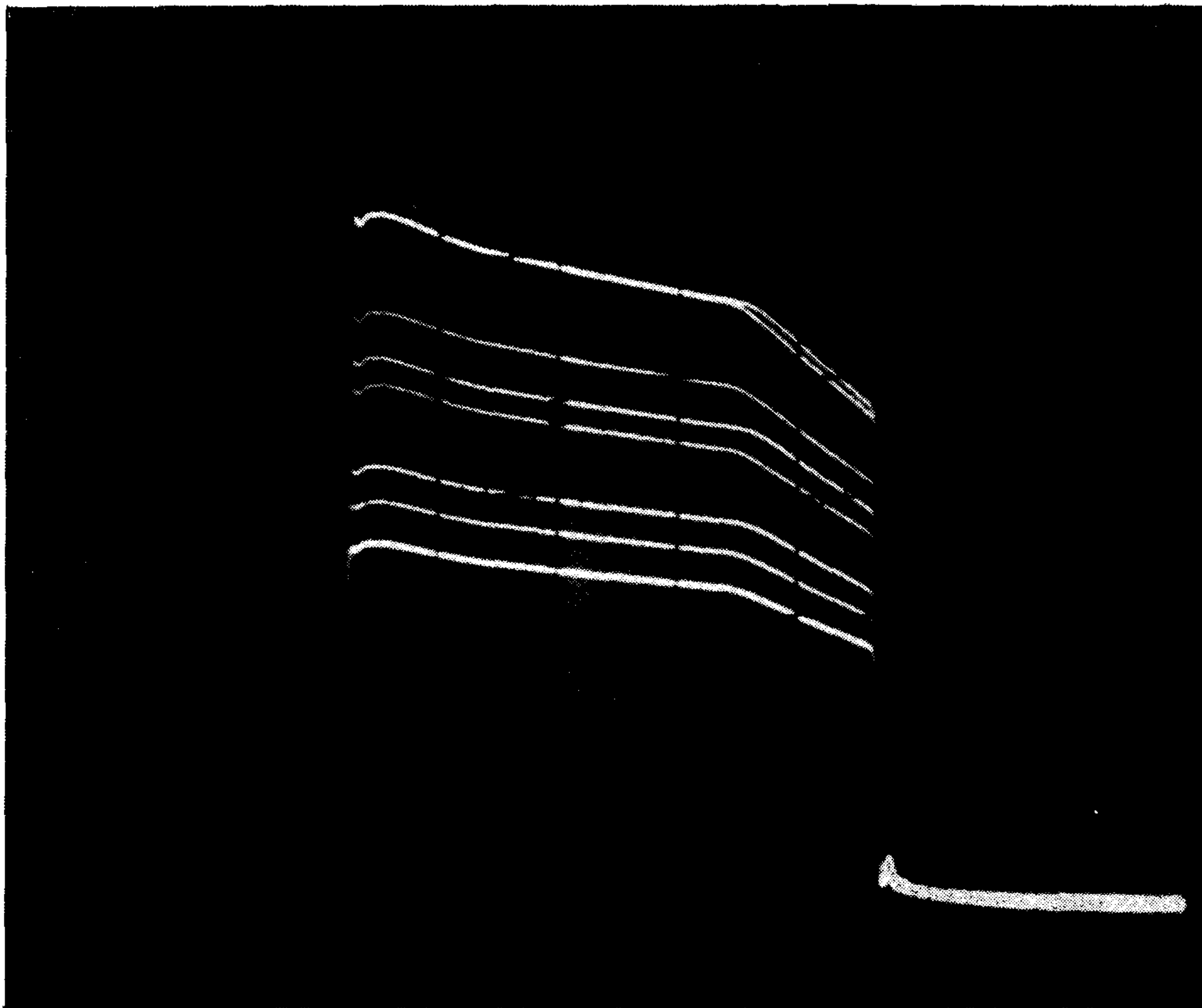


Fig. 3. — Espiga de morfología normal de un marcapasos de corriente limitada.



**Fig. 4. — Excesiva movilidad de catéter. Espigas sucesivas superpuestas. Fotografía obtenida en apnea.**

varse también una disminución de la amplitud máxima y a los 0,5 miliseg, mientras que la amplitud mínima permanece constante. El estudio experimental conexo mostró las variaciones de la morfología en relación a la carga interpuesta. En los marcapasos Stanium, esta variación se operó de la siguiente manera (fig. 6).

La fotografía de la izquierda muestra una espiga obtenida con 500 ohms de carga, observándose la típica morfología normal de corriente limitada. La imagen de la derecha permite determinar que ante variaciones de la resistencia, la morfología cambia notoriamente.

La onda superior (cuadrada no diferenciada) corresponde a una resistencia infinita, con el generador trabajando "en vacío". A medida que la resistencia disminuye desde 1.000 a 100 ohms, puede observarse que la morfología sufre cambios derivados de la modificación de algunos elementos.

- amplitud máxima: la misma disminuye consecuentemente con la disminución de la impedancia.
- pendiente: desde 1.000 a 500 ohms, existe una pendiente ininterrumpida; de allí en menos y hasta 100 ohms, aparece un "plateau" que se prolonga, aumentando la relación meseta/duración total, que se hace 1/1 en la última curva.

Este mismo esquema experimental fue reproducido en un Marcapasos Medtronic, observándose lo siguiente (fig. 7):

A la izquierda, con  $R = 500$  ohms, la morfología es igual a la descrita como normal para este generador. A la derecha se observan espigas obtenidas con el generador trabajando "en vacío" (resistencia infinita), en la parte superior, y las sucesivas morfologías que se obtienen disminuyendo las resistencias desde 1.000 a 100 ohms, de 100 en 100.

Puede verse entonces que la morfología de la espiga sufre modificaciones en base a varios elementos:

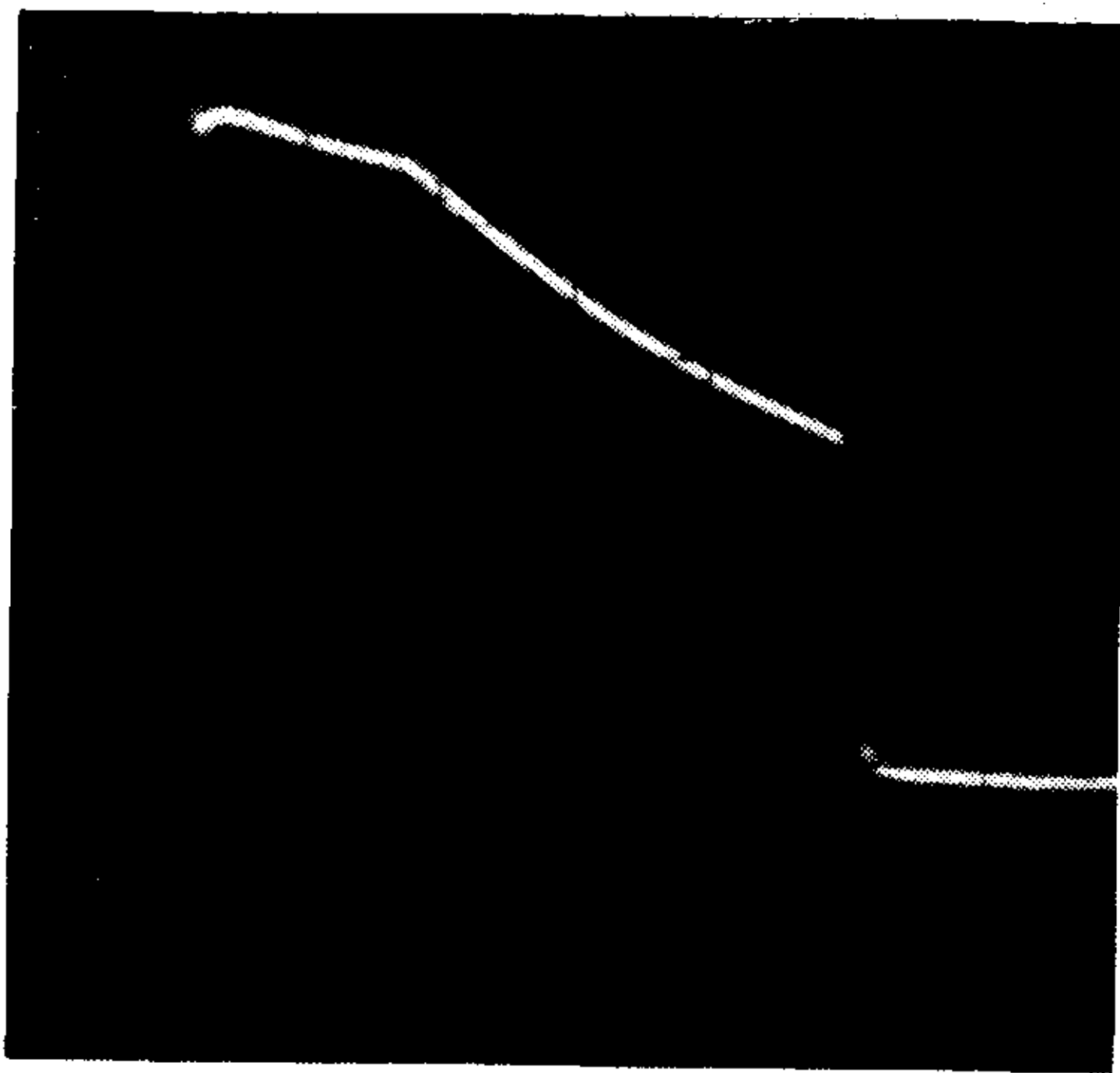
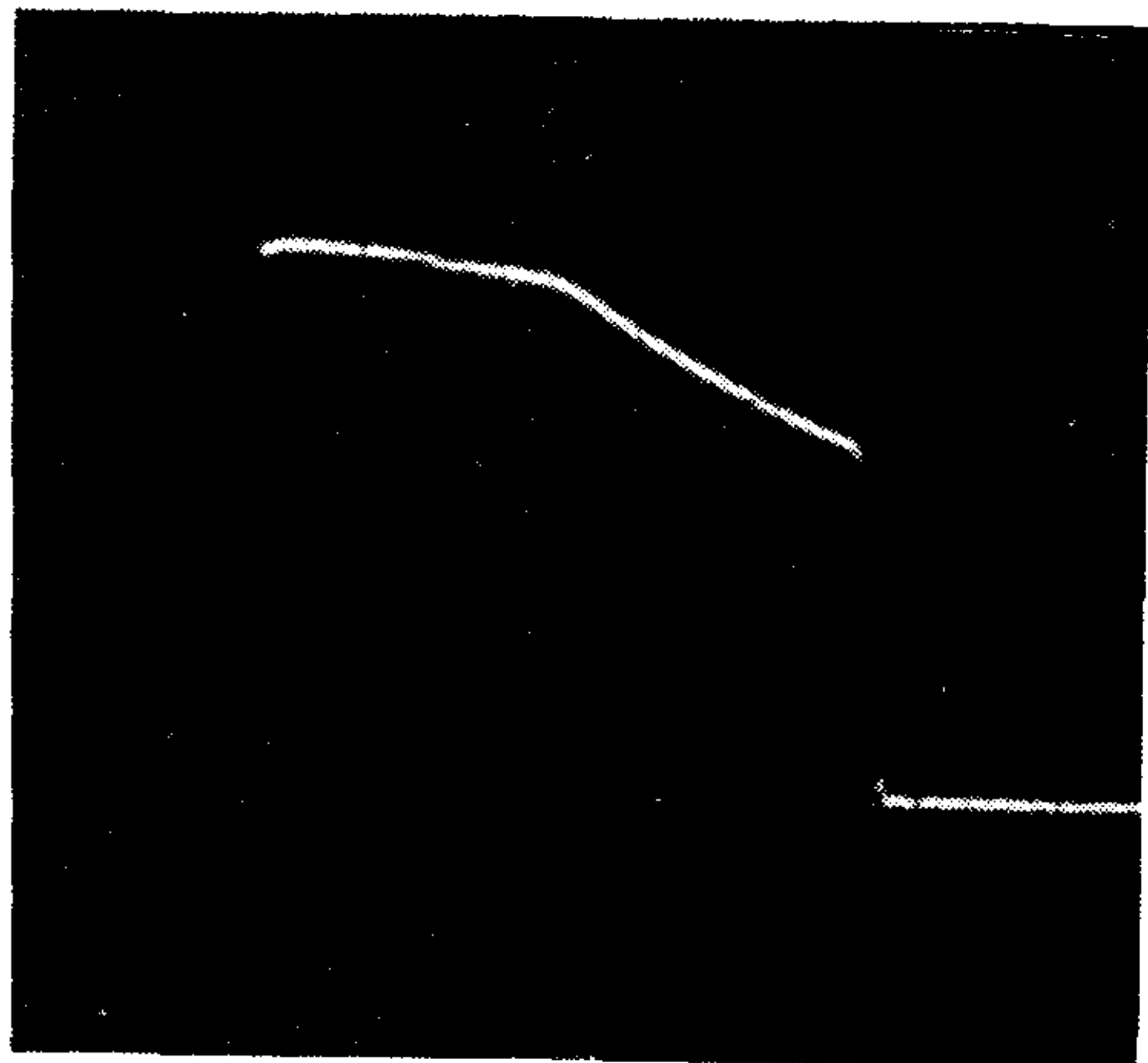


Fig. 5. — Prolongación de la meseta de limitación de corriente en 2 controles sucesivos: disminución de la carga por alteraciones del electrodo.



- Mantenimiento de la amplitud máxima, salvo en las últimas 2 curvas.
- Pendiente: con resistencia infinita, el generador se comporta como "ideal", determinando una onda cuadrada, sin pendiente alguna. A medida que disminuyen las cargas, la pendiente se acentúa, manteniéndose la diferenciación exponencial casi normal, hasta llegar a 300 ohms. Dentro de estos límites, la pendiente es variable en forma lineal con las variaciones de impedancia.
- Diferenciación anómala: Los estudios efectuados con resistencias externas bajas (menos de 300 ohms)

permiten observar la aparición de una morfología sumamente diferenciada, primero creciente y luego en descenso, con amplitud máxima que no es la inicial, formándose una pseudomeseta.

### 3) Modificaciones del patrón de diferenciación normal en forma compleja.

Esta alteración fue observada en un caso de marcapasos Medtronic (fig. 8) y en uno Stanium (fig. 9).

En la figura 8 puede observarse la fotografía obtenida con una velocidad más lenta que la habitual, mostrándose el desfase de la amplitud máxima con respecto a la amplitud inicial, con un crecimiento lento y progresivamente decre-

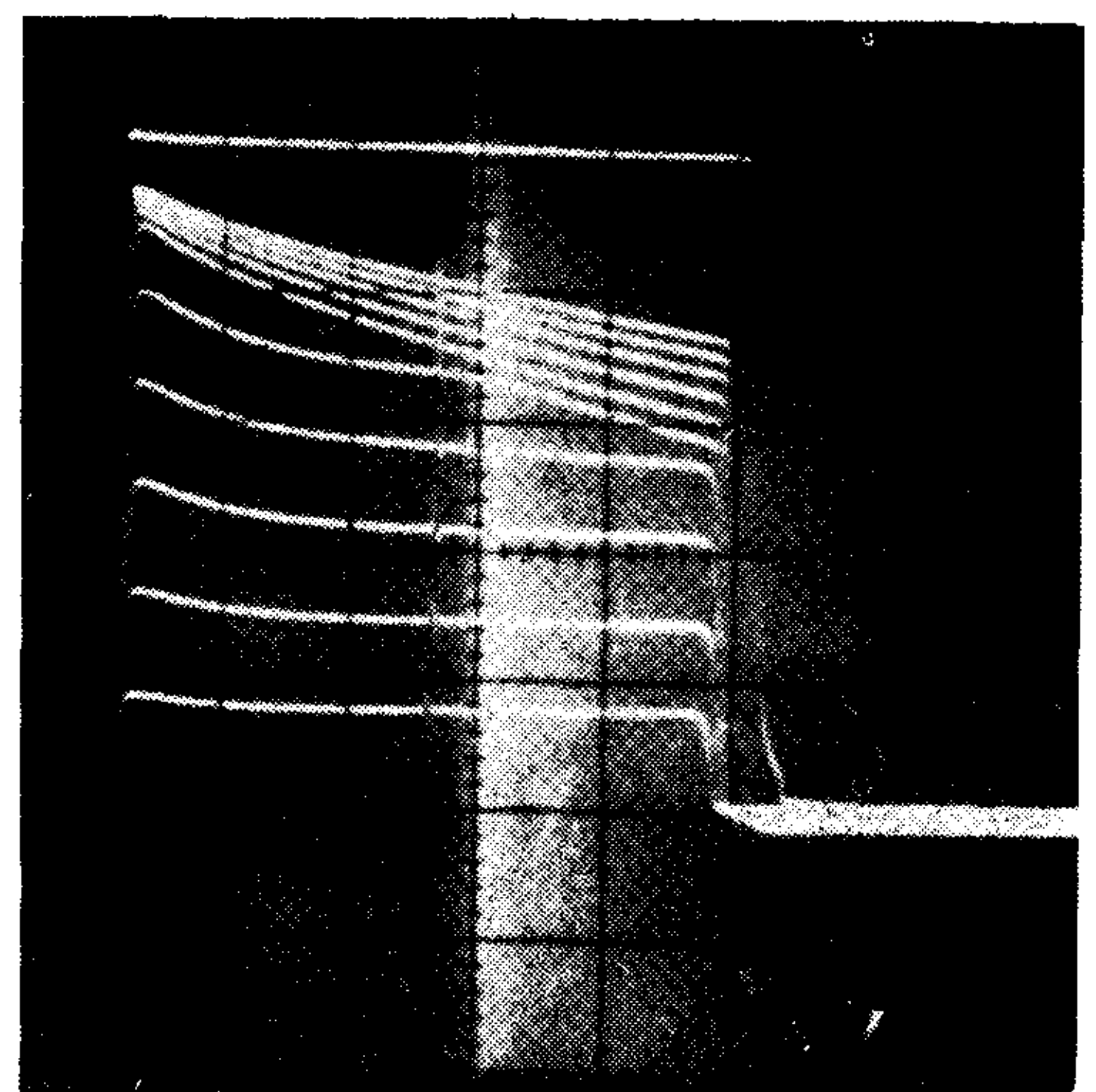


Fig. 6. — Variaciones de la morfología de corriente limitada según la carga: arriba, con 500 ohms de carga; abajo, de 1000 a 100 ohms.

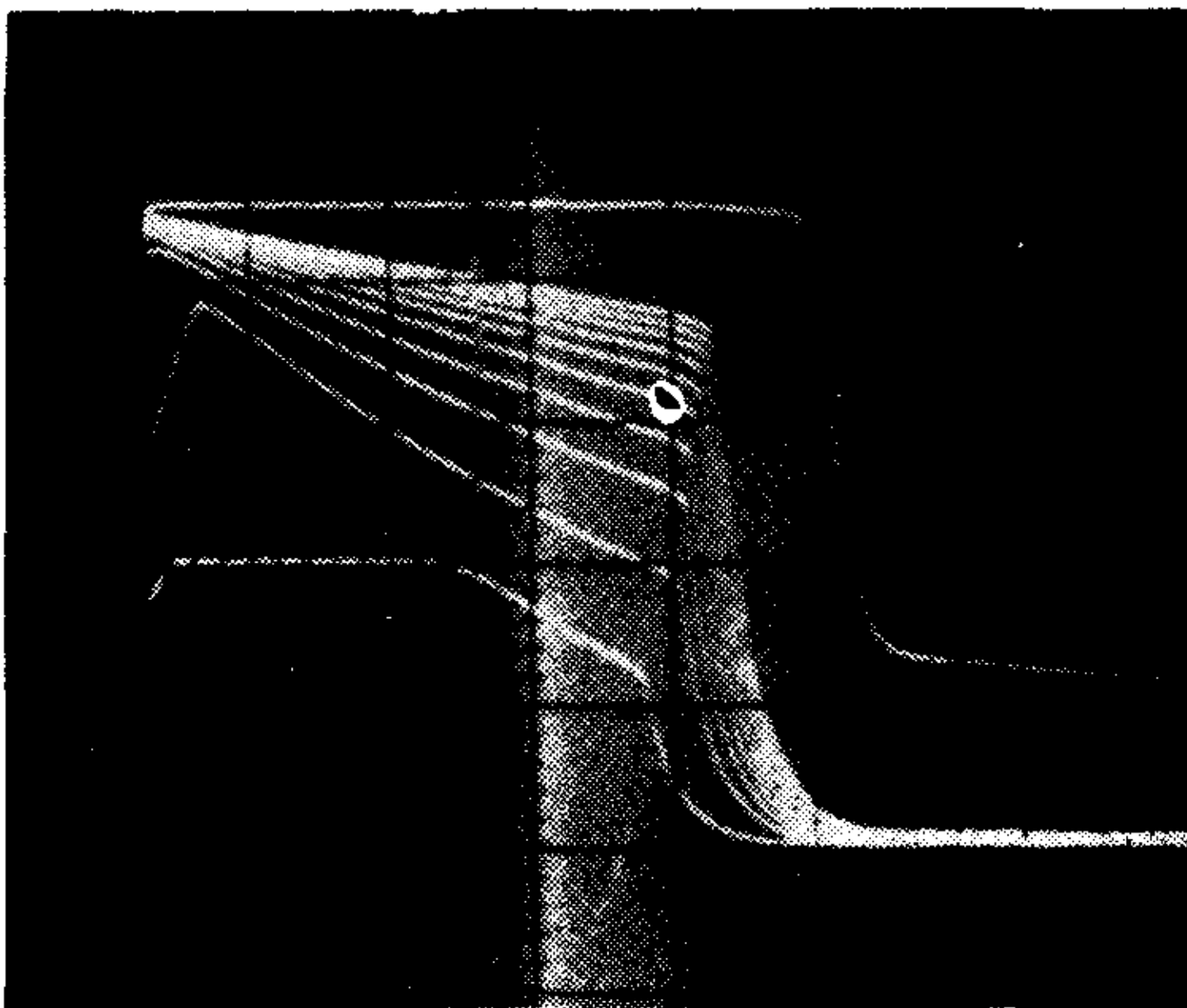
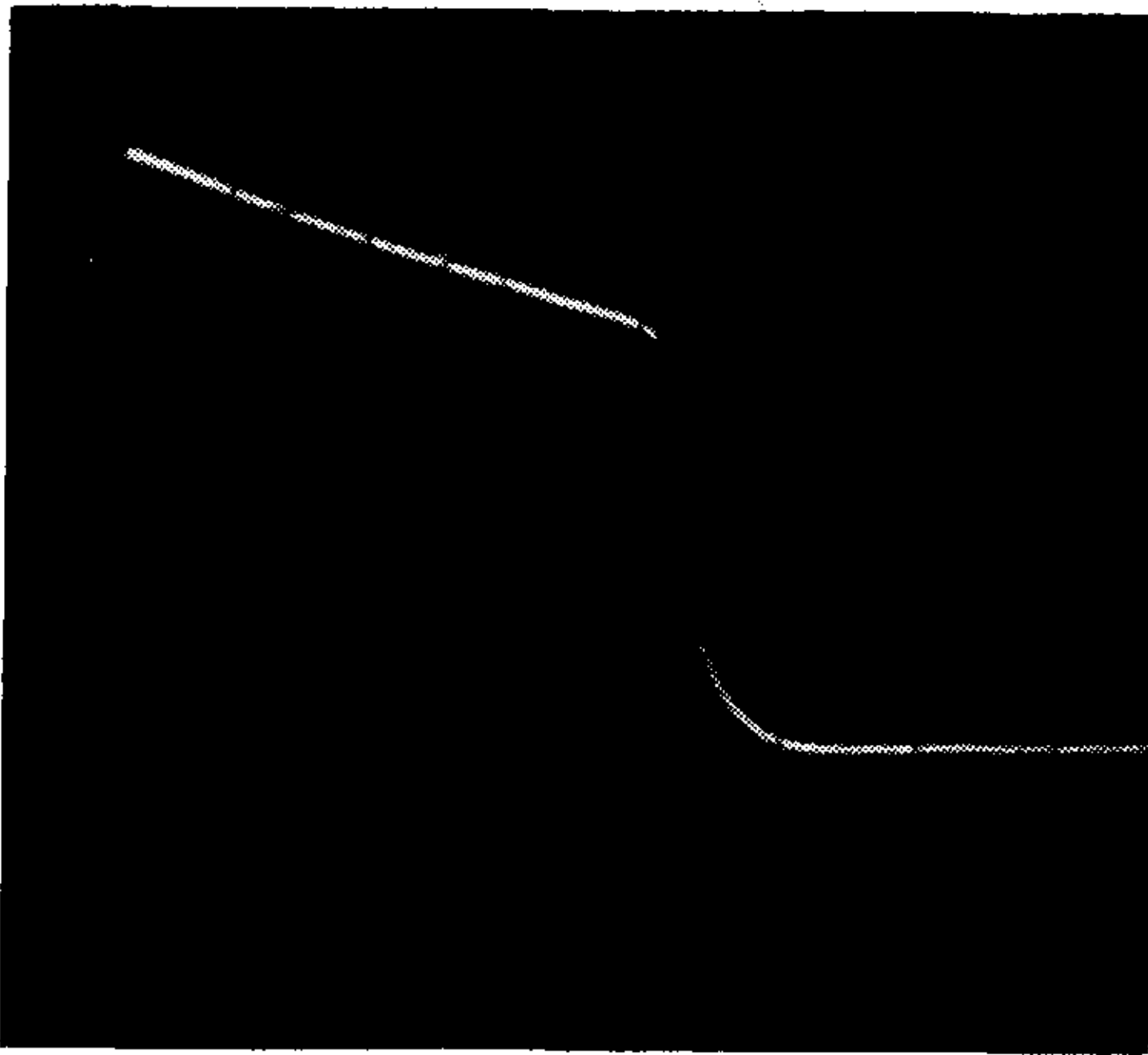


Fig. 7. — Modificaciones de la morfología de voltaje constante según la resistencia externa: arriba, con 500 ohms de carga; abajo, de 1000 a 100 ohms.

ciente en su pendiente hasta un máximo, donde vuelve hasta la línea basal en forma también gradual. La amplitud máxima es también menor que la observable normalmente, mientras que la duración total no se modifica.

En la figura 9 se muestra una espiga de similares características, pero con amplitud máxima similar a la observable normalmente; además puede verse la espiga del mismo generador "en vacío", mostrando una onda rectangular no diferenciada. El oscilograma del generador exteriorizado de su alojamiento, mostró una espiga típica de corriente limitada, con morfología y valores normales. Contra 500 ohms de carga, esta morfología sufrió muy pocas variaciones.

Ambas curvas diferenciadas (las de las figuras 8 y 9) pudieron ser reproducidas utilizando un circuito selector tipo "filtro pasa-bajos", siendo la morfología muy similar a la descrita, como puede verse en la figura 10.

#### DISCUSION

Utilizando las derivaciones standard, la diferencia de potencial obtenida entre los 2 electrodos de registro es proporcional a la corriente entregada por el generador, según la siguiente fórmula:

$$\Delta_V = g \cdot I_{MP}$$

Siendo  $\Delta_V$  = diferencia de potencial entre electrodos.

$g$  = factor geométrico.

$I_{MP}$  = intensidad entregada por el marcapasos.

Esta constante  $g$  o factor geométrico depende a su vez de:

1)  $g_d$  = factor geométrico dependiente de la dirección de la línea de derivación elegida para el estudio.

2)  $g_e$  = factor geométrico determinado por la ubicación del vector del dipolo de estimulación, el cual resulta de la línea trazada entre el punto correspondiente al polo positivo y al polo negativo, modificada por la conductividad de los tejidos interpuestos.

Esta amplitud, medida en distintos puntos desde el inicio del impulso, permite determinar la pendiente "P".

La amplitud máxima, generalmente coincidente con la amplitud inicial, está en relación con la máxima corriente entregada por el generador, de acuerdo con la ecuación  $\Delta_{V_{max}} = g \cdot I_{MP_{max}}$ , donde  $I_{MP_{max}}$  depende a su vez de:

1) el voltaje generado por el marcapasos ( $V_{MP}$ ) y

2) la impedancia total del circuito ( $Z_c$ ).

El voltaje generado por el marcapasos a lo largo de una duración "D", es virtualmente comparable con el voltaje de las baterías ( $V_{MP} \cong V_B$ ), siempre que no haya defectos en el circuito.

La impedancia  $Z_c$  es una variable sumamente compleja que depende de:

1)  $Z_i$  o impedancia interna del circuito del generador.

2)  $R_e$ , resistencia del cateter electrodo al pasaje de la corriente.

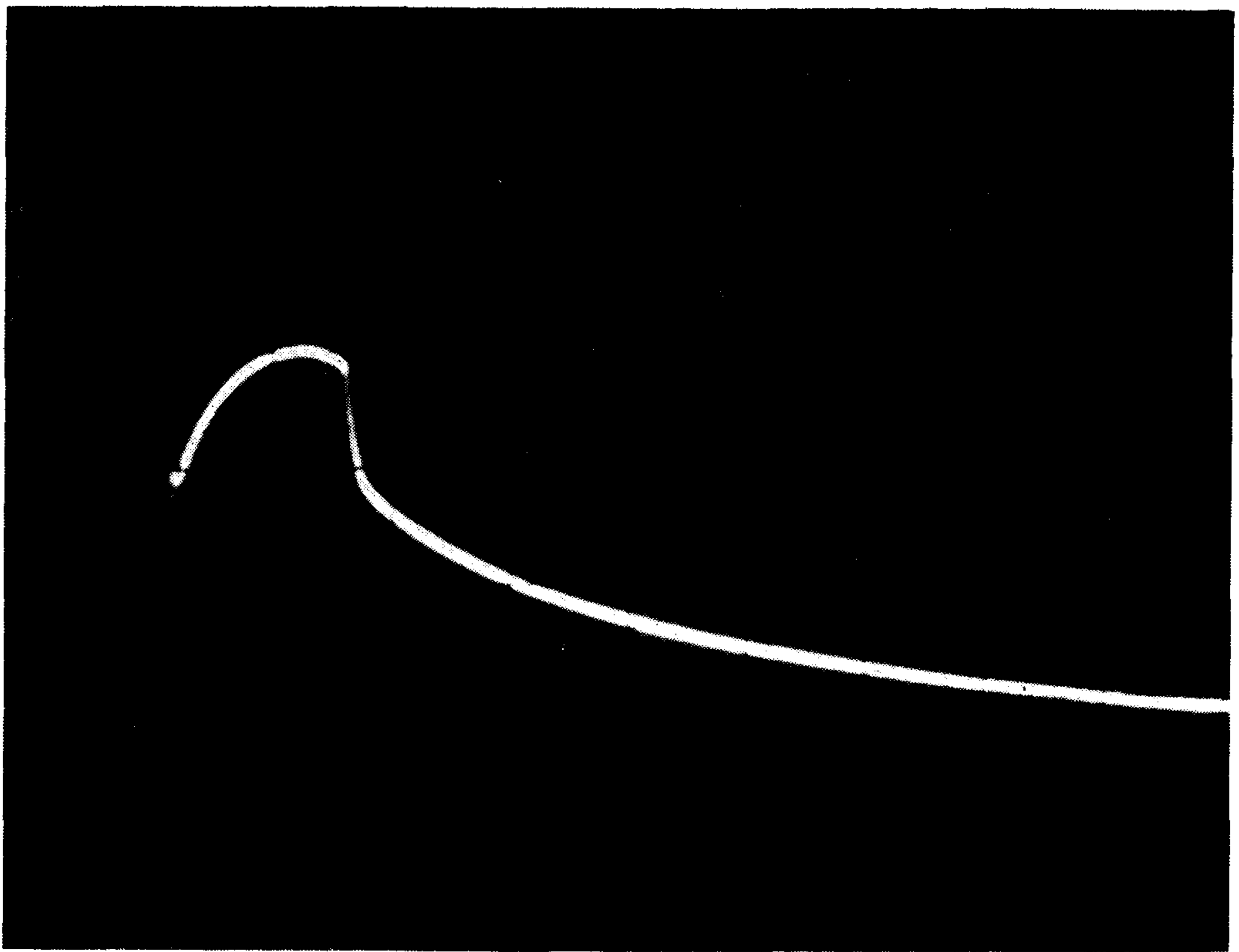


Fig. 9. — Diferenciación capacitiva en MP con limitación de corriente (falla de aislación de la cubierta de Titanio): arriba izquierda, con MP en el bolsillo; abajo izq. MP exteriorizado. A la derecha, arriba: "en vacío", y abajo, con 500 ohms de carga (ver texto).

3)  $Z_t$ , resultante de las distintas impedancias de los tejidos interpuestos al pasaje de la corriente entregada.

De tal manera se obtiene la ecuación siguiente:

$$I_{MPmax} = \frac{V_{MP}}{Z_i + R_e + Z_t} \quad 4, 5).$$

En los marcapasos de **voltaje constante** (Medtronic, Devices),  $Z_i$  es menor que la suma de  $R_e$  y  $Z_t$ , mientras que en los de **corriente constante** (Cordis),  $Z_i$  resulta mayor que  $R_e$  y  $Z_t$  sumadas, es decir, la resistencia interna supera a la externa o carga.

En los marcapasos de corriente constante,  $I_{MP}$  se mantiene invariable prácticamente durante todo el impulso, determinando una onda cuadrada, cualquiera sea la carga.

En cuanto a la pendiente "P", ésta queda determinada por las variaciones de

$I_{MP}$  a lo largo de "D", especialmente en los marcapasos de voltaje constante, donde las variaciones de corriente de salida debidas a la descarga del condensador de salida del circuito y la polarización de los electrodos, hacen que dicha pendiente se manifieste.

Así como la variación de la corriente en los marcapasos de voltaje constante permite analizar P, la inalterabilidad de la misma en los marcapasos de corriente constante da lugar a la formación del "plateau", que es completo para los marcapasos Cordis y que presenta una limitación temporal en los marcapasos de **corriente limitada** (Stanium); la duración de este "plateau" se encuentra en estrecha relación con la carga, y sus variaciones en más o menos pueden modificar esta meseta de manera notable. Ello también es válido para la pendiente en los marcapasos de voltaje constante.

Resumiendo, podemos subrayar la existencia de 3 tipos de morfologías normales diferentes:



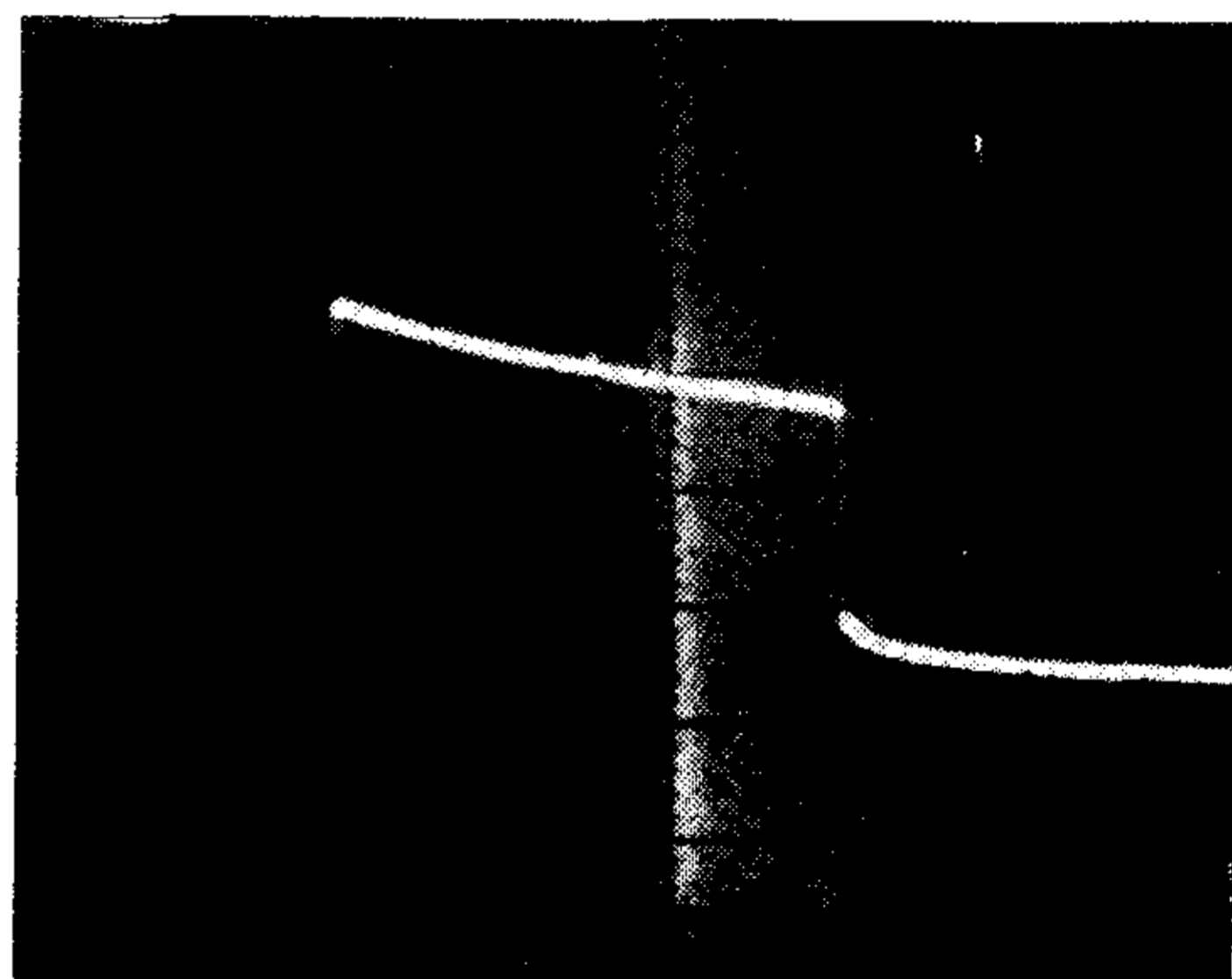
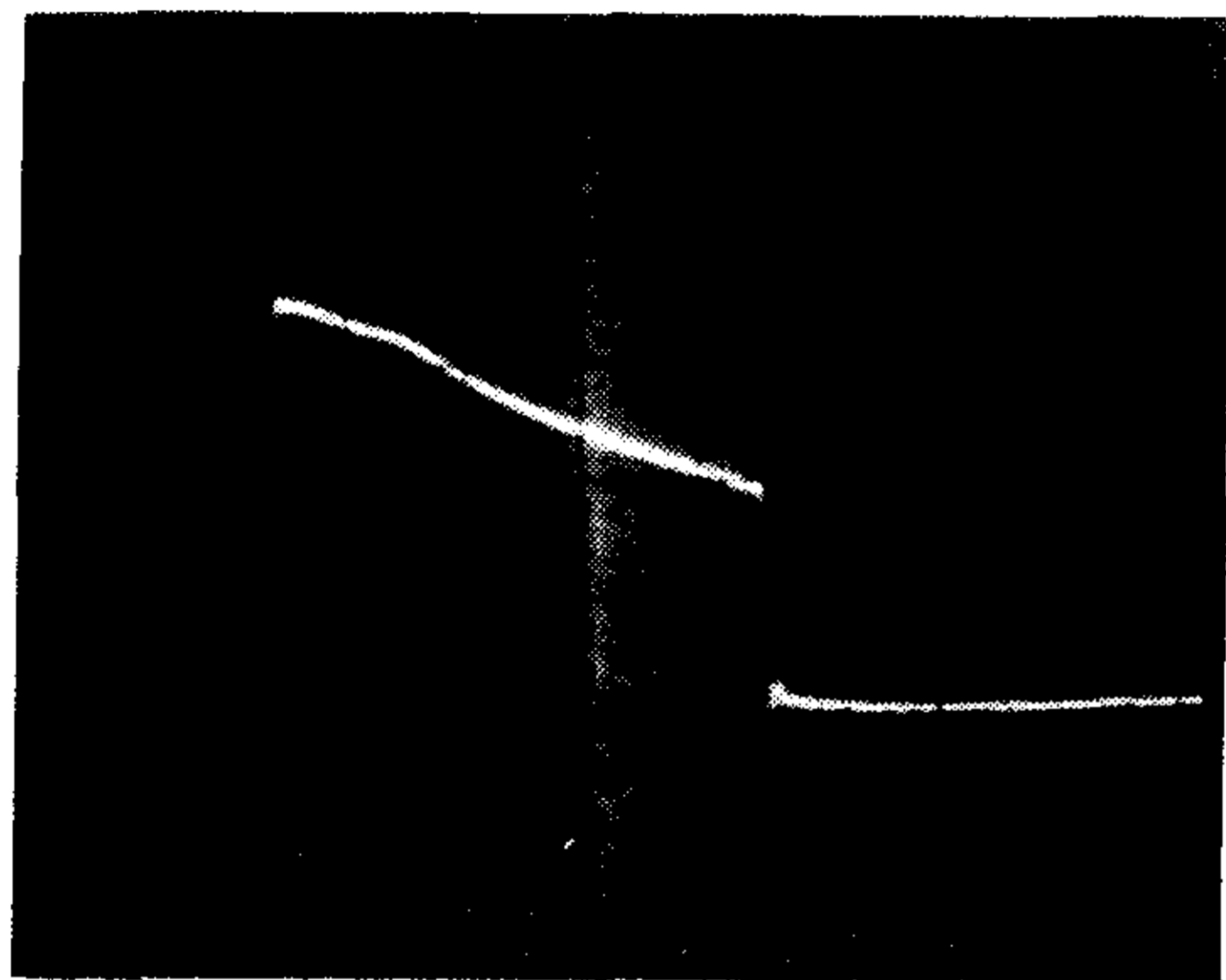
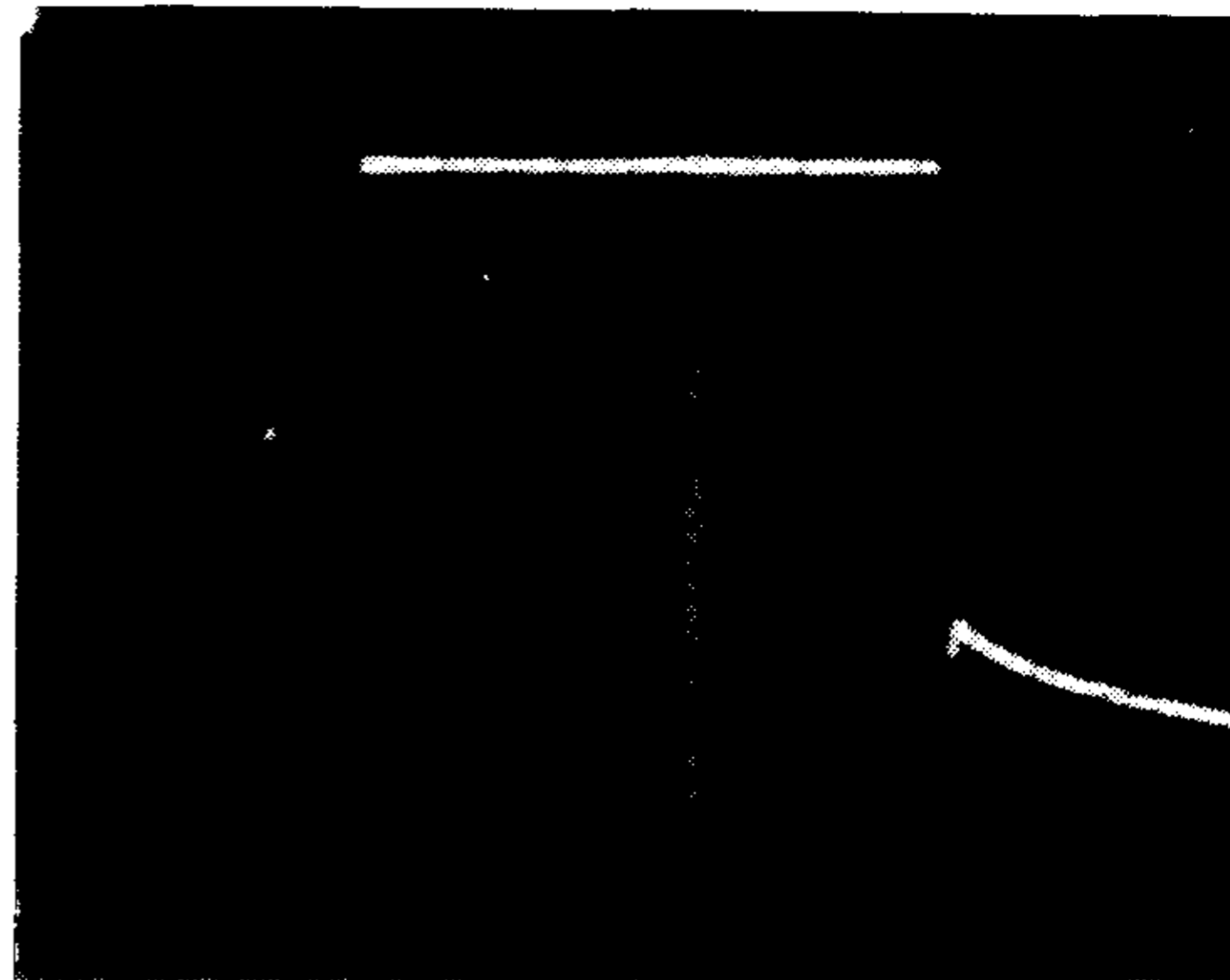
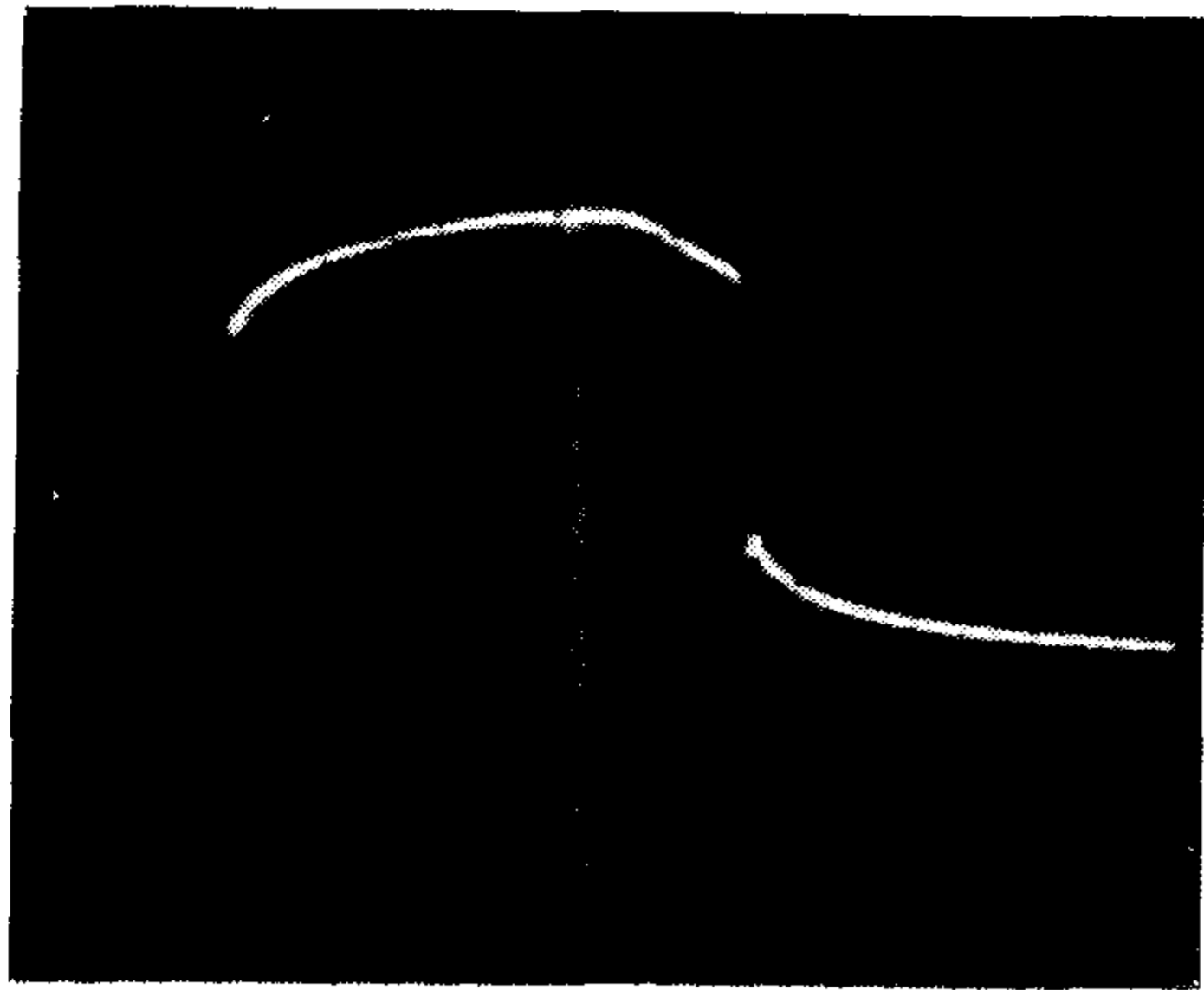


Fig. 8. — Diferenciación por efecto capacitivo en un MP de voltaje constante (rotura del aislante del electrodo).

- 1) de corriente constante (MP Cordis).
- 2) de corriente limitada (MP Stanium).
- 3) de voltaje constante (MP Medtronic y Devices),

de acuerdo a que la corriente se mantenga inalterada, parcialmente alterada o completamente variable respectivamente, a lo largo de la duración D.

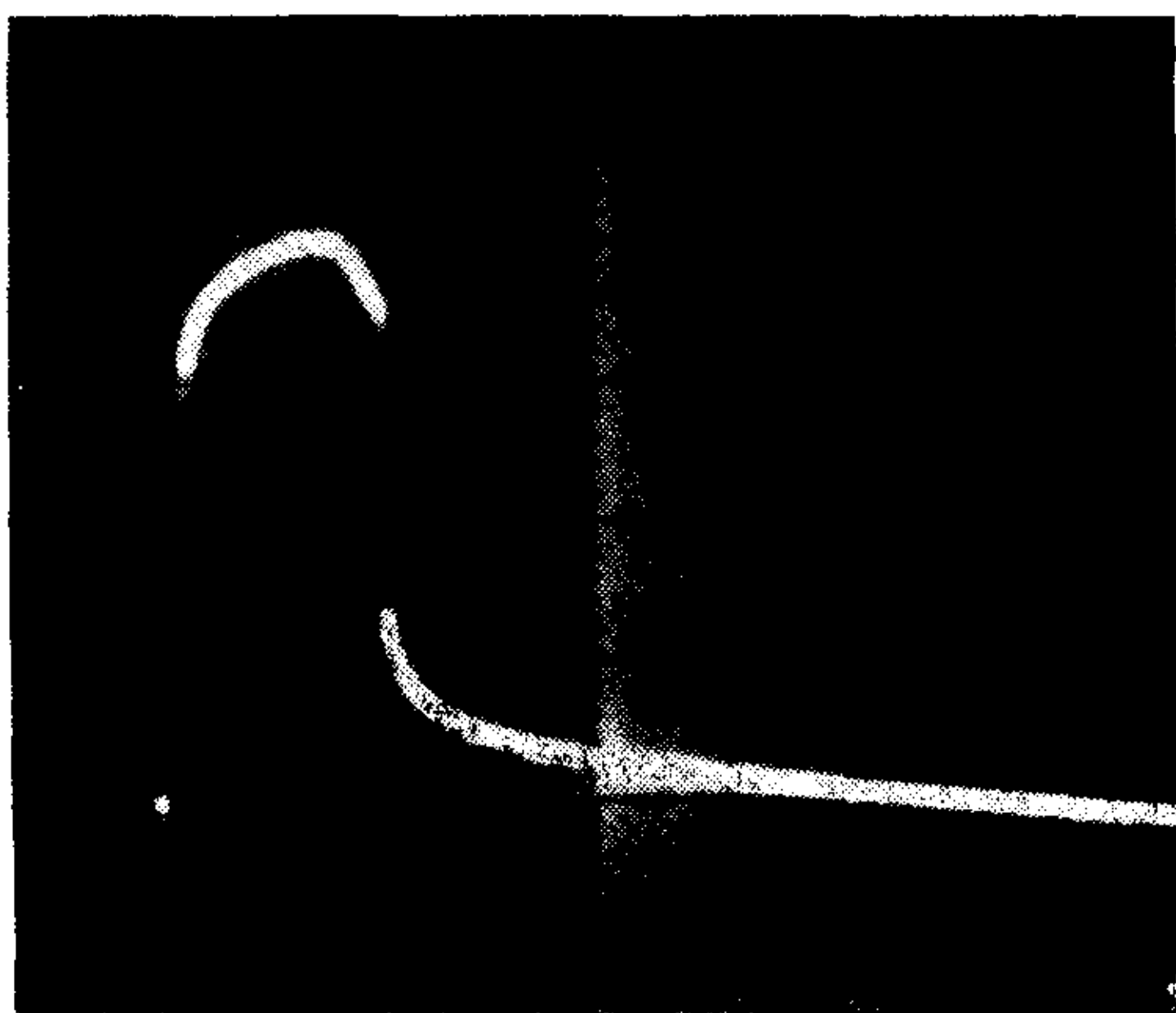
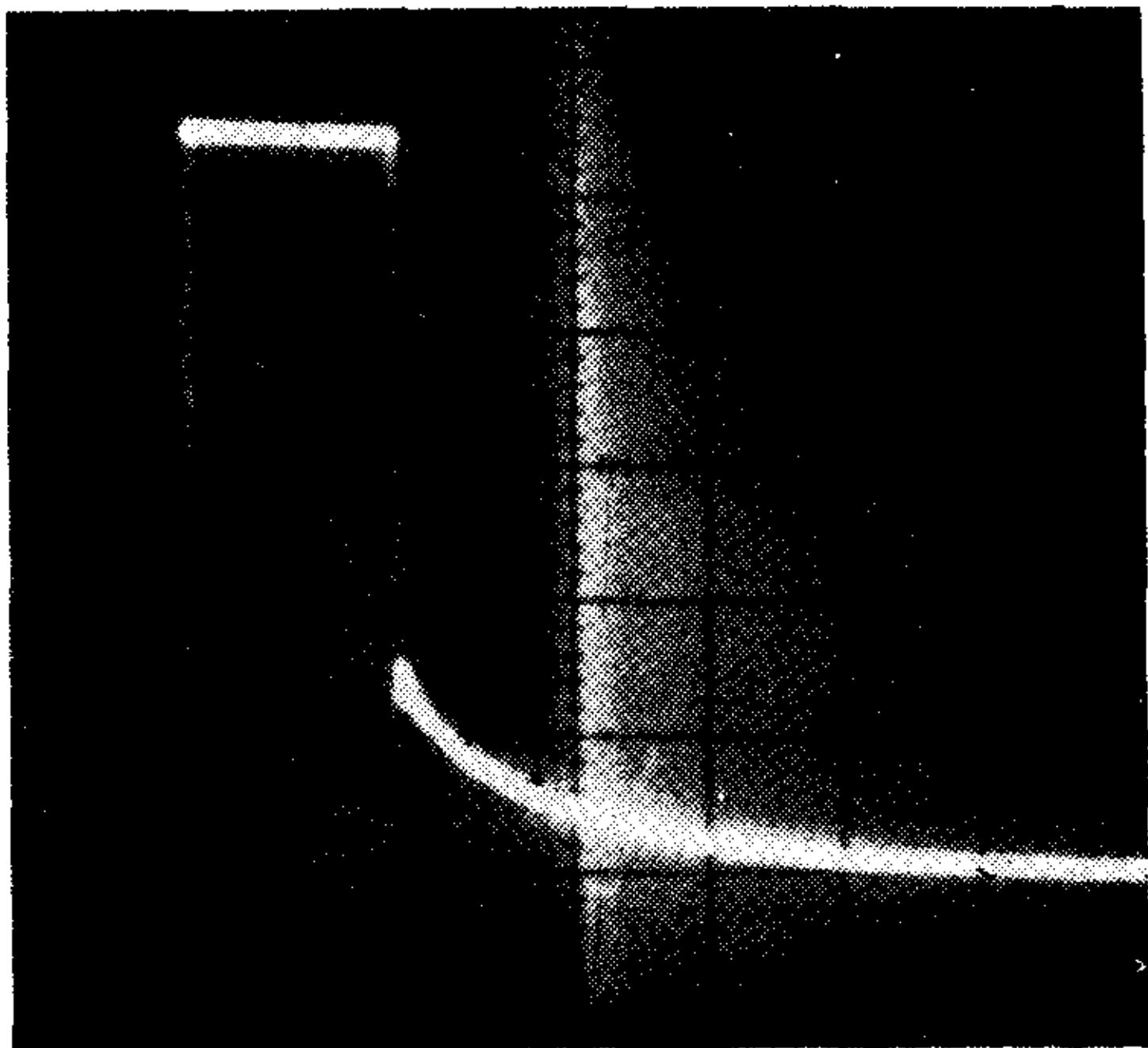
Esta condición depende de las características de la relación entre la resistencia interna y la carga, tal como lo muestra la figura 11.

En lo que se refiere a las alteraciones cíclicas de la amplitud de las espigas, tanto máxima como mínima, sin alteraciones de la pendiente o de la relación meseta/duración total, es importante considerar que tales hallazgos se apoyan exclusivamente sobre variaciones de la proyección vectorial de cada dipolo-espiga sobre la derivación utilizada. Como las fotografías fueron obtenidas en D II y en apnea inspiratoria, puede descartarse que los movimientos respiratorios

sean los responsables de tal modificación. La línea de base invariable, como así también la duración del "plateau" o la expresión de la pendiente, según el caso, eliminan a la variación instantánea de la resistencia de la posibilidad diagnóstica.

De todo ello resulta que dichos cambios se deben a una **efectiva** movilización del vector E sobre la línea proyectiva de la duración empleada, movilización que puede homologarse a la excesiva movilidad del cateter electrodo intracavitario, especialmente si es bipolar.

Las modificaciones de la pendiente en los marcapasos de voltaje constante y de la relación entre la duración del "plateau" y la duración total del pulso en los de corriente limitada, dependen estrechamente de la carga utilizada, como ha quedado claramente establecido. A este respecto, el análisis de la figura 11 permite determinar también como se comportarán los pulsos de salida en la medida que la suma de  $R_e$  y  $Z_t$  ( $Z_e$  o



**Fig. 10.** — Diferenciación por efecto capacitivo experimental con "filtro pasa-bajos": arriba, MP "en vacío"; abajo, después de interponer dicho circuito. Obsérvese la similitud con la espiga de la figura 8.

carga) se contraponga a  $Z_i$ . Ello puede verse claramente en la figura 6, donde la aparición de una onda cuadrada de corriente constante se da con cargas del orden de los 300 ohms y menos, cargas estas que son menores que  $Z_i$  de este tipo de generador, por lo que éste se comporta como de corriente constante. A la inversa, y en la misma figura, las resistencias externas altas, cercanas a 1.000 ohms, notoriamente superiores a  $Z_i$ , determinan que el generador se comporte como de voltaje constante.

En general, este fenómeno de diferenciación de curvas, tanto con cargas altas como bajas, podría explicarse como

sigue: el circuito de salida de un marcapasos, constituye lo que en electrónica se denomina "filtro pasa-altos" (fig. 12), la constante de tiempo de este circuito está dada por el producto de la capacitancia  $C$  y la resistencia  $R$ . Frente a una onda cuadrada como la generada por el marcapasos, este circuito modifica la forma de la onda de salida, según la constante de tiempo, de la manera como lo muestra la figura 12. Así, a medida que disminuye  $R \times C$ , se van modificando las ondas de salida de "a" a "d". Cuando la capacitancia es constante (como en los generadores de pulso) esta diferenciación de la onda depende de la resistencia  $R$ , que está formada por la resistencia interna ( $Z_i$ ) más la carga o resistencia externa  $R_e + Z_t$ ). Por lo tanto, de mantenerse la impedancia interna del circuito del marcapasos invariable, las modificaciones de la morfología derivadas de la variación en la duración del "plateau" o en cambios de la pendiente de descarga pueden ser homologadas con cambios en la carga contra la cual trabaja el generador.

Las alteraciones apuntadas al hablar de las figuras 8 y 9, donde el patrón de diferenciación resulta completamente anormal, sólo podrían explicarse por la aparición de un efecto capacitivo en el circuito de salida. El agregado de una capacitancia a la salida del generador, conforma un nuevo circuito, en todo comparable con un "filtro-pasa-bajos", cuyo esquema teórico se ve en la figura 13. En este esquema se indica también la respuesta de este circuito ante una onda cuadrada. Este efecto es más pronunciado cuanto menor sea la constante de tiempo  $R \times C$ . En rigor de verdad, este filtro pasa-bajos se ubica en serie después del filtro pasa-altos que normalmente contiene el circuito del marcapasos, tal como lo muestra también la figura 13, pero esto no modifica mayormente lo dicho, y la diferenciación que se obtiene luego de actuar el efecto capacitivo es similar.

En general, las capacitancias se crean por la coexistencia de dos conductores separados por un elemento aislante.

Cuando se produce una fractura de las cubiertas aislantes del electrodo esta situación se da, debido a que los conductores quedan separados por un elemento semiaislante (los tejidos interpuestos entre el alambre en contacto con los mis-

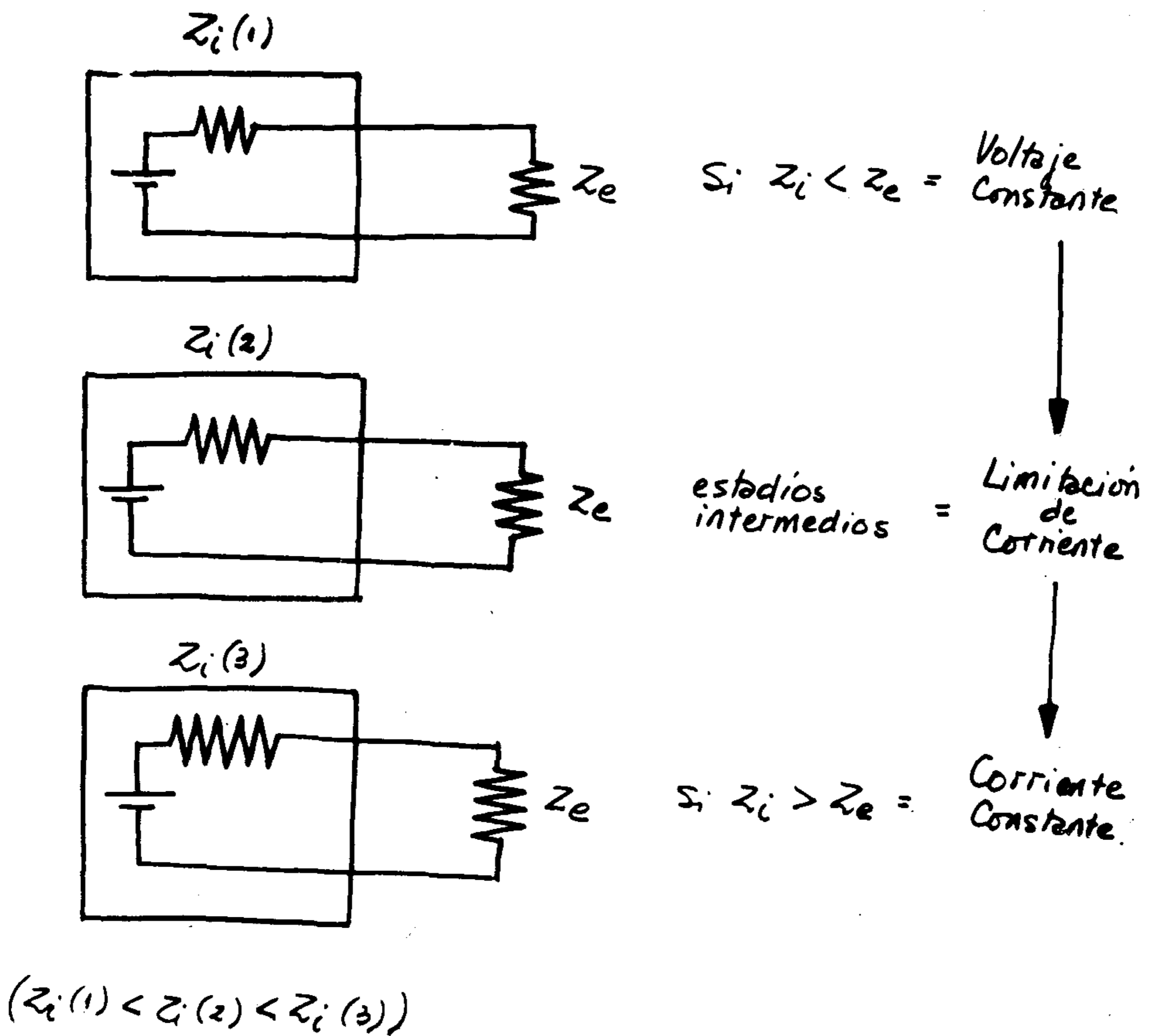


Fig. 11. — Relaciones entre resistencias externas e internas; su resultado osciloscópico: voltaje constante, limitación de corriente y corriente constante.

mos y el electrodo indemne que estimula endocavitariamente). Homologamos esta alteración a la fractura del aislante, con pérdida de corriente a través de la misma, hecho éste que se comprobó al extraer quirúrgicamente la pieza (fig. 14).

En el segundo caso presentado, el análisis osciloscópico demostró también el tipo "unipolar" de la espiga, característica ésta que desaparecía al extraer el generador del bolsillo, desapareciendo también el efecto capacitivo, inscribiéndose una onda cuadrada en vacío y de limitación de corriente normal con 500 ohms de carga. Ello indujo al diagnóstico pérdida de aislación, como el caso anterior, pero **a nivel del generador**, a través de su cubierta de Titanio, que cortocircuitando con uno de los polos, producía la formación de una capacitancia por igual mecanismo que el ya apuntado para caso del catéter electrodo. Ello fue

corroborado por la comprobación de la fuga de corriente en banco de pruebas.

O sea que, en resumen, la aparición de efectos capacitivos por pérdida de aislación en el catéter o en el generador, produce diferenciaciones de onda fuera del patrón normal, con las características apuntadas.

A manera de conclusión final, diremos que el análisis osciloscópico puede ser de utilidad no solamente en lo que se refiere a la duración de la fuente de poder, como ha quedado demostrado en estudios anteriores, sino también en aquellos estadios patológicos que supongan variaciones de la morfología del artefacto de estimulación. Especialmente, en el caso de la pérdida de aislación del electrodo y las variaciones de la carga, es probablemente el único medio para establecer un diagnóstico preciso en forma incruenta.

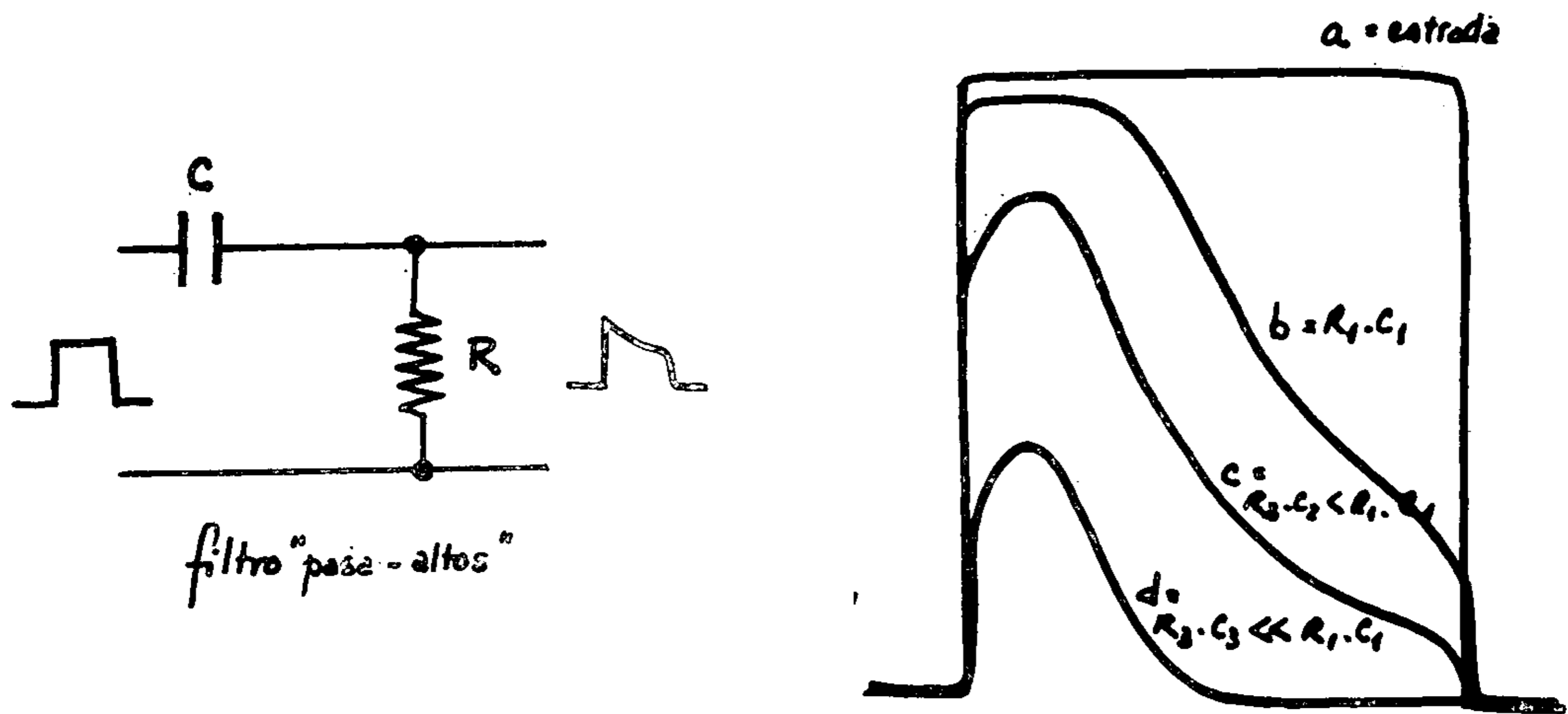
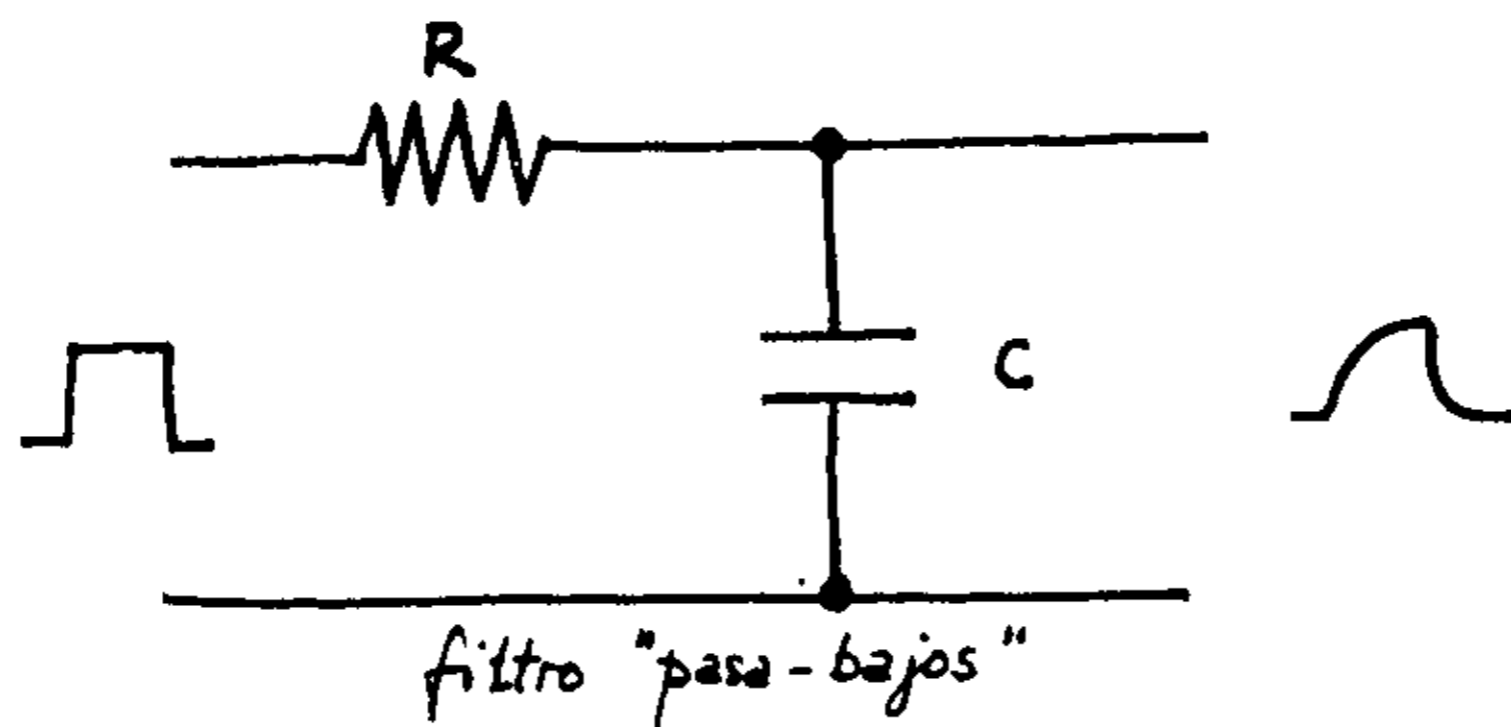


Fig. 12. — Esquema de un circuito tipo "filtro pasa-altos". Curvas resultantes del efecto resistivo sobre la curva cuadrada "ideal".



1. onda cuadrada "ideal"
2. salida normal del NP
3. onda diferenciada por componente capacitiva.

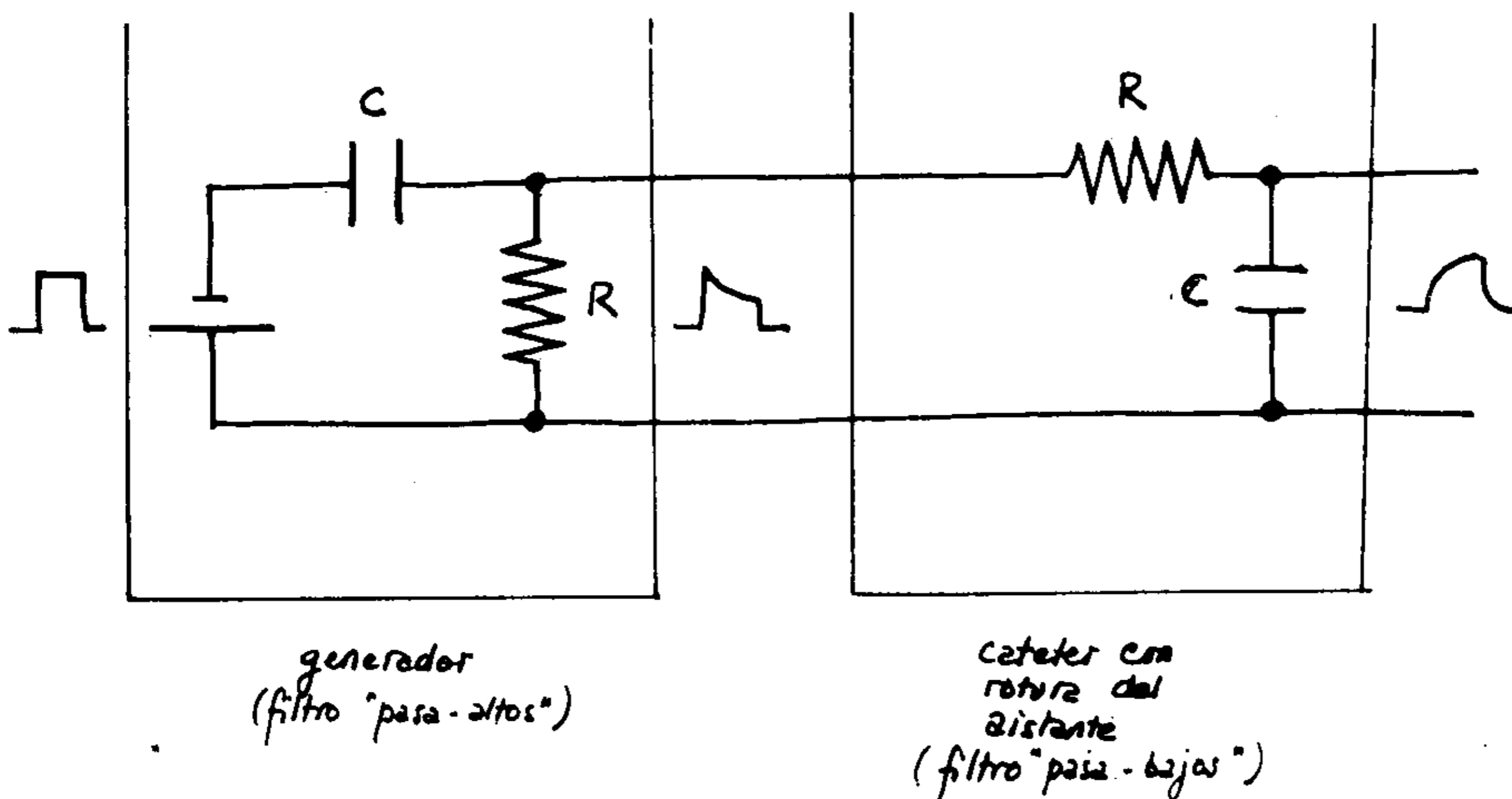


Fig. 13. — Esquema de un circuito tipo "filtro pasa-bajos" y su ubicación en serie después del circuito del marcapasos.

## SUMMARY

*In order to know how normal oscilograms of different kinds of pacemakers modified in certain pathologic states, 147 patients (3 with Cordis Pacemakers, 56 with Medtronic, 21 with Devices and 67 with Stanium generators) were studied.*

*On other hand, experimental photo-analysis on the same type pacemakers, working on variable resistences or any kind of circuit were done, trying to reproduce clinical disorders.*

*Thus, it could be determined:*

*1st) Normality criteria and clasification of different kind of generators.*

*2nd) Changes in amplitude due to variations in vectorial projections.*

*3rd) Slope changes or "plateau" duration variations.*

*4th) Abnormals in wave's differentiation.*

*On this basis, clinical and experimental*

*results are discussed, and is emphasized the diagnostic usefulness of this method.*

## BIBLIOGRAFIA

1. Pujadas, G.; Albertal, J.; Segura, E.: "Análisis de la espiga en marcapasos implantados. Criterios para el control de su funcionamiento. Estudio clínico-experimental". VIII Congreso Argentino de Cardiología. Córdoba, 1969.
2. Knuckey, L.; Mc Donald, R.; Sloman, G.: "A method of testing implanted pacemaker". Brit. Heart J., 27, 483, 1965.
3. Lozada h.), B.; Dussaut (h.), A.; Costanzo, M.: "Utilización de un analizador osciloscópico de espiga y computadora digital en el control de marcapasos implantados". X Congreso Argentino de Cardiología, Mar del Plata, 1973.
4. Thalen, H. J.; Berg, J. W. Van Den; Horman, Van Der; Heide, J. N.; Nieveen, J.: "The artificial cardiac pacemaker". Holanda, 1970. Royal Van Gorcun Editores, 2/ edición, págs. 269-297.
5. Thalen, H. J.; Berg, J. W. Van Den: "Photo analysis of electrode function". Proc. Conf. Advances in Cardiac Pacemakers. New York Ac. Sc., 1968.