

TRABAJOS ORIGINALES

VECTOCARDIOGRAFIA. - I. INSTRUMENTAL

RICARDO B. PODIO *

La actividad cardíaca determina en el cuerpo un campo eléctrico no uniforme variable con el tiempo según una ley prácticamente periódica. Los potenciales eléctricos registrables sobre la superficie dependen por una parte de la variación en el tiempo y en el espacio de los impulsos generados en el interior del corazón; y por otra de las características del medio parcialmente conductor que constituye el cuerpo.

En primera aproximación se supone al corazón equivalente a un dipolo elemental de dirección y momento variables periódicamente con el tiempo. Si el cuerpo se considera como un medio homogéneo es sencillo calcular la distribución de potencial en la superficie en función de la posición del dipolo y de su orientación. Como caso particular, si el dipolo pertenece al centro de un cuerpo esférico el potencial en cada punto de la superficie de la esfera varía con el coseno del ángulo formado por el eje del dipolo y la recta que une el punto con el centro de la esfera o punto cero del dipolo.

Evidentemente el fenómeno es más complejo por varias razones. En primer lugar queda oscuro el mecanismo de propagación del impulso en las fibras musculares cardíacas; las dimensiones del corazón no son tan pequeñas frente a las del cuerpo para hablar de un dipolo elemental central; además el medio no tiene características eléctricas simples, ni homogeneidad absoluta, ni forma geométrica definida. El esquema antedicho servirá entonces sólo como esquema de orientación.

El método directo de medición de la actividad electrocardíaca es el electrocardiograma, o sea el registro de la variación en el tiempo de la diferencia de potencial entre dos puntos del cuerpo. Se puede hablar de potencial en un punto si al otro se le asigna el carácter

* Jefe de Cardiología del Hospital Italiano. Córdoba. Trabajo leído en la Sociedad Argentina de Cardiología el 21-IX-51.

de punto de potencial nulo o, como se dice comúnmente, punto de tierra. Si estuvieran satisfechas las condiciones esquemáticas previamente mencionadas, la determinación simultánea del potencial de tres puntos distintos de la superficie sería suficiente para darnos la información completa sobre las características del dipolo. No siendo así no habrá otra posibilidad teórica que el registro de un número muy grande de electrocardiogramas simultáneos.

Es factible la comparación automática de dos electrocardiogramas simultáneos, es decir, conseguir un único trazado que nos dé toda la información contenida en esos dos electrocardiogramas distintos y simultáneos. Además si se eligen convenientemente los pares de electrocardiogramas tres trazados de planos perpendiculares pueden dar una buena información de la actividad eléctrica y permitir la deducción del E.C.G. en cualquier punto del cuerpo. Dicho trazado originado en dos E.C.G. distintos y simultáneos (y generalmente ortogonales) es el vectocardiograma y vectocardiógrafo es el aparato que efectúa la síntesis.

El V. C. G. nos da, pues, el potencial de un punto en función del potencial de otro punto, siendo ambos potenciales referidos al de un tercer punto, en el tiempo. Estos tres puntos definen un plano y el V. C. G. en primera instancia permite deducir todos los E. C. G. contenidos en ese plano. Cada bucle es una línea cerrada referida a un sistema de ejes tomados de acuerdo con la posición geométrica de los puntos explorados

Podemos aclarar el concepto anterior si recordamos que el campo eléctrico en un punto puede considerarse como efecto o resultante de tres componentes ortogonales y que la variación de la magnitud de una componente no solo modifica la magnitud, sino también la dirección de la resultante. Considerado en un plano las componentes serán dos.

El galvanómetro de espejo o cuerda, instrumento de registro del E. C. G., sólo varía en una dirección y por lo tanto solo puede registrar las variaciones en esa dirección. Demuestra el fenómeno en un punto o línea en función del tiempo y los cambios que ocurren en otra dirección no lo influyen.

Si el instrumento es capaz de variar en dos direcciones simultáneamente, recoge las modificaciones de ambas componentes, registra dos electrocardiogramas simultáneos y ortogonales, si las direcciones lo son; por lo tanto, el potencial de por lo menos tres puntos

o del plano definido por ellos. Dicha función es desempeñada comúnmente en el vectocardiógrafo por el tubo de rayos catódicos a deflexión electrostática y de cuatro placas ortogonales.

Como se ve, el E. C. G. y V. C. G. son expresión del mismo fenómeno y cumplidas las condiciones antedichas pueden deducirse recíprocamente.

El V. C. G. de un plano dado visualiza la posición u orientación del dipolo cardíaco (tal como se proyecta sobre ese plano) en cada instante del ciclo. Por eso mediante dos o más planos es posible tener la posición especial de dicho dipolo en cualquier instante del ciclo.

INSTRUMENTAL

El vectocardiógrafo que empleamos en nuestros trabajos ha sido construído con las siguientes características: *

—Dos amplificadores de banda pasante entre 0.5 y 250 c/s., con ganancia máxima de 10⁵ y terminal de tierra común.

—Tubo de rayos catódicos a deflexión electrostática y de cuatro placas ortogonales.

—Circuito de tiempo para 0.02, 0.01 y 0.005 s. Está constituido esencialmente por un multivibrador que aplica impulsos de potencial negativo a la grilla del tubo de rayos catódicos interrumpiendo así el haz electrónico en los espacios de tiempo mencionados. En el trazado aparecen como interrupciones de la línea.

—Indicador de rotación del bucle. Se obtiene aplicando un pequeño impulso positivo a la grilla del T. R. C. inmediatamente después de cada interrupción producida por el marcador del tiempo t. En esa forma cada arco de línea en la pantalla no resulta uniforme sino más luminoso en el punto inicial dando por lo tanto automáticamente el sentido de rotación del bucle. En los trabajos actuales no ha sido utilizado por carecer de papel fotográfico de sensibilidad suficiente. El papel de electrocardiógrafo requiere una intensidad luminosa que borre la diferencia del trazo.

—Dispositivo de registro fotográfico estático y con movimiento uniforme del papel de electrocardiógrafo requiere una intensidad luminosa que borra la electrocardiogramas. En la actualidad se toman manualmente pero está en construcción el dispositivo automático y sincronizado con los ciclos.

—Tablero de comando con controles para ganancia independiente o conjunta de los amplificadores, intensidad y foco del haz, conmutador de tiempo, selector de derivaciones o planos, standardización, etc.

—Cámara de Faraday, electrodos, etc.

DERIVACIONES: Se utilizan derivaciones unipolares con central terminal de Goldberger. Se obtienen por lo tanto V. C. G., unipolares para los tres planos

* El Prof. Dr. Manlio Abele ha diseñado las distintas partes del aparato. Su construcción estuvo a cargo del Sr. Ricardo Pavese, para quienes dejo expresado mi reconocimiento.

similares a los de Milanovich². El central terminal en todos los casos está conectado al punto de tierra de los dos amplificadores y a los de las placas deflectoras del T. R. C., una horizontal y otra vertical, dispuestas en ángulo recto entre sí. Se completa en la siguiente forma:

Para el V. C. G. U. F. la pierna izquierda se conecta con el amplificador unido a la placa que produce la desviación vertical del punto; el electrodo de V6 se une a través del amplificador, a la placa que produce la desviación horizontal del punto.

Para el V. C. G. U. H. el electrodo de V6 se mantiene unido a la placa que produce la desviación horizontal del punto; la placa de desviación vertical se une a V2.

Para el V. C. G. U. S. la placa de desviación vertical se une a la pierna izquierda; la que produce desviación horizontal al electrodo de V2.

La posición de los puntos se modifica ligeramente: V2 se mantiene en 4º espacio márginoesternal izquierdo; V6 en axilar media e intersección de la horizontal que pasa por cuarto espacio. Se trata de mantener los electrodos en el mismo plano horizontal.

La amplificación es la misma para ambas placas vertical y horizontal lo que trae como consecuencia una reducción de la abertura vertical del V. C. G. frontal y sagital a la par que su eje mayor tiende a ser más horizontal.

Polaridad. La conexión de las placas del T. R. C. está efectuada de manera tal que un potencial positivo aplicado simultáneamente a las dos entradas de los amplificadores produce una desviación del haz electrónico hacia la derecha y abajo para el observador que está mirando la pantalla del T. R. C., es decir, que pertenece al cuarto cuadrante de un sistema de referencia antihorario con eje X-0 orientado horizontalmente hacia la derecha del observador.

Con lo anterior se obtiene la orientación y polaridad de las figuras. Los V. C. G. de nuestros trabajos corresponden a los denominados de positividad aunque creemos que esa terminología es insuficiente e innecesaria si se establece la polaridad como se ha hecho aquí. Por otro lado la configuración y rotación es la misma en el de positividad y negatividad si se utilizan los mismos puntos de toma y el giro de 180º transforma uno en otro. Cada V. C. G. debe ser referido a un sistema X, Y con los dos ejes orientados según las desviaciones positivas producidas por los dos pares de placas.

En los trazados referidos a un sistema polar (r, θ) los ejes X, Y se toman respectivamente coincidentes con $\theta = 0$ y $\theta = 3\pi/2$.

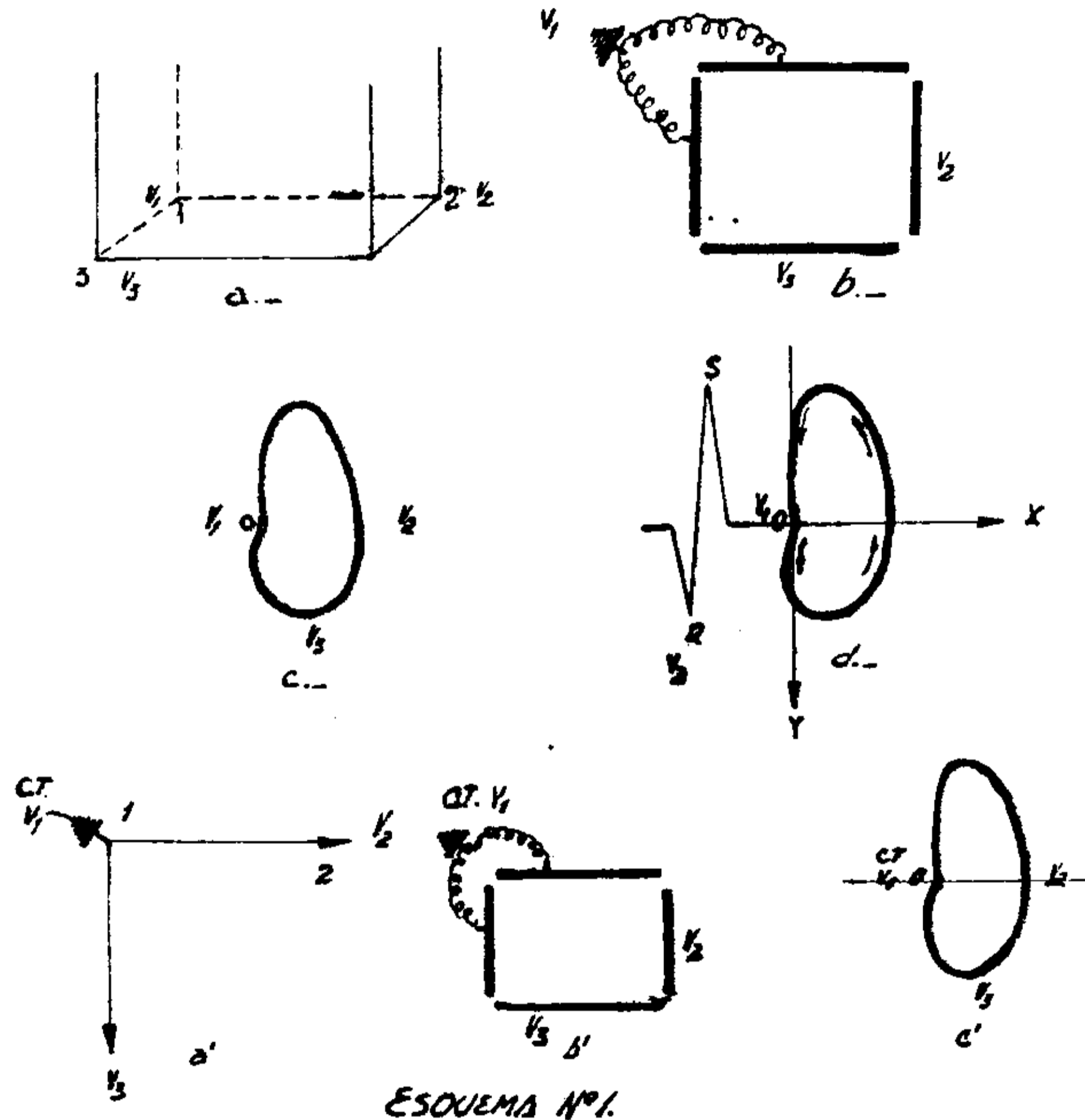
Debe naturalmente relacionarse con los puntos de toma de las derivaciones recordando que para el caso de los V. C. G. unipolares Pierna izquierda es el componente vertical para el frontal y sagital (Y); V6 el horizontal para el V. C. G. frontal y horizontal (X); y V2 el horizontal anteroposterior (X) para el sagital.

COMENTARIOS

Las derivaciones unipolares, siguiendo el concepto de Milovanovich, simplifican la técnica del V. C. G. y utilizan, por otra parte, los mismos puntos que la electrocardiografía unipolar. También se

logra el mismo potencial de referencia, el del central terminal, para ambos registros, hecho que consideramos de importancia y sobre el cual no se ha llamado la atención.

En el V. C. G. existe un potencial de referencia que es el de las placas comunes o de tierra, potencial que podemos considerar reinante en el punto de origen del V. C. G. en base al cual se inscribe la imagen y se calcula el potencial de un punto del trazado. El punto de origen (0) del V. C. G. se hace coincidir con el cero



ESQUEMA N°1.

POTENCIAL DEL PUNTO (1) A PLACAS DE TIERRA, A "0" DEL V.C.G. Y 0 DEL SISTEMA DE REFERENCIA E ISOELECTRICA DE LA SERIE V (V_1 - V_2 - SIGNIFICA POTENCIAL DEL PUNTO 1-2-3. ETC.)

de los sistemas de ejes de referencia y se toma como un punto de potencial nulo o isoelectrónica en la deducción de las derivaciones. Si el potencial de las placas es realmente nulo o próximo a cero porque está conectado a un punto del cuerpo que posee ese potencial, entonces la construcción es exacta. De lo contrario, teóricamente será necesario conocer ese potencial para restarlo o sumarlo al obtenido desde un punto de la curva vectocardiográfica.

Los sistemas de referencias son también referidos al centro anatómico del tórax y por lo tanto será natural que el potencial que

reine en el punto 0 del sistema sea el mismo que el del centro anatómico o mejor el del centro eléctrico (Jouve³).

Además la serie V usa como potencial de referencia un potencial próximo a cero, que es el que se obtiene con el central terminal. Este mismo central terminal conectado a las placas de tierra nos dará un potencial de referencia próximo a cero, igual al del punto medio del dipolo cardíaco e igual al de la serie V. En el esquema I se ha tratado de objetivar estos hechos.

Para deducir de un vectocardiograma los potenciales de los distintos puntos es entonces necesario conocer el potencial del punto 0 o elegir como punto 0 un punto del cuerpo de potencial nulo. Si bien tiene sentido hablar de punto de potencial nulo en un instante dado en un cuerpo no cargado como el humano, no es posible hablar de punto que mantenga su potencial rigurosamente nulo durante todo el ciclo variando periódicamente y en forma muy compleja la dirección de los estímulos en el interior del corazón. Se ve la necesidad de referir siempre los potenciales deducidos de un V. C. G. al potencial de los puntos tomados como comunes o de tierra y sin pretender que los resultados tengan un valor absoluto. Con un conjunto de electrodos conectados entre sí será posible conseguir un borne común donde las fluctuaciones eléctricas sean pequeñas como para hablar de potencial nulo, lo que se logra con el denominado central terminal de Wilson. Debe agregarse que será más exacto utilizarlo como este autor con resistencias intercaladas suficientemente elevadas como para no perturbar con las conexiones mismas la distribución del potencial sobre la superficie.

Los sistemas de derivaciones bipolares cuyo punto común es un vértice de un paralelepípedo o cubo o tetraedro, llevan a las placas de tierra y al cero del V. C. G. un potencial variable y que se aleja del reinante en el punto medio del dipolo cardíaco. Dicho potencial o el V. C. G. así obtenido no puede referirse al 0 del sistema de referencia; y tampoco es comparable la derivación deducida usando este potencial como 0, con la obtenida en base al potencial del central terminal.

Estas cuestiones pueden no tener importancia para el estudio general de los fenómenos eléctricos en el sentido de que los valores siempre son reales con respecto a la referencia utilizada; pero sí la tienen para clasificar los resultados de distintos autores y evitar aparentes incongruencias.

CONCLUSIONES

Se hacen breves consideraciones sobre la génesis del V. C. G. y se describe el aparato utilizado en los presentes trabajos. Se dan las razones que fundan la elección del V. C. G. unipolar.

Se observa la posibilidad de errores especialmente en la deducción de derivaciones a partir del V. C. G. por no tener en cuenta el potencial del punto común o de placas de tierra, que se hace coincidir sistemáticamente con el punto 0 del V. C. G. y del sistema de referencia en los cuales poseen valor cero.

En conclusión, E. C. G. y V. C. G. representan dos técnicas idénticas, poseyendo la última una ventaja indiscutible, puesto que cada V. C. G. es igual a dos E. C. G. simultáneos y porque permite, además, una información directa sobre la distribución del potencial en el plano definido por los electrodos de exploración.

* Agradecemos al Prof. Dr. Manlio Abele la crítica de la parte física del presente trabajo y sus numerosas sugerencias.

BIBLIOGRAFÍA.

1. *Podio, R. B., Abele, M., Rev. Círc. Méd. Córdoba.* 1951. 39, 101.
2. *Donzelot, E., Milovanovich, J. B., Kaufmann, H., — Etudes Pratiques de Vectocardiographie. L'Expansion Scientifique. París.* 1950.
3. *Jouve, A., Bouisson, P., — La Vectocardiographie en Clinique. Masson. París.* 1950.
4. *Duchosal, P., Sulzer, R., — La Vectocardiographie. Karger. Basilea.* 1949.

RESUME

On fait des brèves considérations sur la genèse du vectocardiogramme et on décrit l'appareil utilisé. On justifie l'élection du vectocardiogramme unipolaire. On commente la possibilité d'erreurs, spécialement dans la déduction des dérivations à partir du vectocardiogramme pour ne pas avoir tenu compte le potentiel du point commun ou des plaques à terre, que l'on fait coïncider systématiquement avec le point 0 du vectocardiogramme et du système de référence dans lesquels 0 a quelque valeur. Donc l'électrocardiographie et la vectocardiographie représentent deux techniques pareilles ayant la dernière un avantage indiscutable, puisque chaque vectocardiogramme représente deux électrocardiogrammes simultanés et parce qu'il permettent en plus une information directe sur la distribution du potentiel dans le plan défini par les électrodes d'exploration.

SUMMARY

A short discussion on the genesis of the vectorcardiogram (v.c.g.) is presented and the apparatus is described. Some errors in the deduction of the v.c.g. are

due to the fact that the potential of the common point of the electrodes and the zero point of the v.c.g. are thought to be identical. The conclusion is reached that the e.c.g. and the v.c.g. have similar techniques but that the v.c.g. offers the advantage of showing two simultaneous e.c.g.'s. The distribution of the cardiac potentials in the plane determined by the v.c.g. is also directly seen.

ZUSAMMENFASSUNG

Es werden kurze Hinweise auf die Entstehung des Vektokardiogrammes gemacht und der verwendete Apparat beschrieben. Die Wahl des einpoligen Vektokardiogrammes wird begründet. Die Möglichkeit Irrtümer zu begehen, wird kommentiert, speziell bei Ableitung von Schlüssen, die aus dem Vektokardiogramm gezogen werden ohne das Potential des gemeinsamen Punktes oder des Erdungsplatten in Betracht zu ziehen, das systematisch mit dem Punkt O des Vektokardiogrammes wird begründet. Die Möglichkeit Irrtümer zu begehen, wird, in welchen es den Wert O besitzt. Abschliessend bemerkt stellen die Elektrokardiographie und die Vektokardiographie zwei identische Techniken dar, von denen letztere unbestreitbar vorteilhafter ist, da jedes Vektokardiogramm zwei gleichzeitigen Elektrokardiogrammen entspricht und ausserdem eine unmittelbare Auskunft über die Potentialverteilung in der durch die Untersuchungs Elektroden bestimmten Ebene erlaubt.