

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第6991498号
(P6991498)

(45)発行日 令和4年1月12日(2022.1.12)

(24)登録日 令和3年12月10日(2021.12.10)

(51)国際特許分類 F I
A 6 1 B 5/389(2021.01) A 6 1 B 5/389

請求項の数 2 (全24頁)

(21)出願番号	特願2017-47113(P2017-47113)	(73)特許権者	000219314 東レエンジニアリング株式会社 東京都中央区八重洲一丁目3番22号(八重洲龍名館ビル)
(22)出願日	平成29年3月13日(2017.3.13)	(73)特許権者	593006630 学校法人立命館 京都府京都市中京区西ノ京東柵尾町8番地
(65)公開番号	特開2018-149056(P2018-149056 A)	(74)代理人	110001427 特許業務法人前田特許事務所
(43)公開日	平成30年9月27日(2018.9.27)	(72)発明者	岡田 達弥 滋賀県大津市大江一丁目1番45号 東レエンジニアリング株式会社内
審査請求日	令和2年2月12日(2020.2.12)	(72)発明者	牧川 方昭 滋賀県草津市野路東1丁目1-1 立命館 最終頁に続く

(54)【発明の名称】 生体内信号強度検出装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

生体表面に配置される電極に生じる電圧によって、生体内の信号源の信号強度を検出する生体内信号強度検出装置であって、
前記生体内の信号源は、複数の筋繊維からなる線状の信号源であって、
前記複数の信号源を囲むように、前記生体表面の円周上に配置する、2つの電極が連結された電極ユニットと、
前記生体表面の円周上に配置された前記2つの電極を含む平面内における前記信号源の位置情報(x, y)を検出する手段と、
前記各電極とグランド電位との間に生じる電圧E₁、E₂を測定する手段と、
前記2つの電極を含む平面内における各電極の位置情報、及び、前記信号源の位置情報(x, y)から、前記信号源と前記各電極との距離r₁、r₂を算出する手段と、
を備え、
前記信号源の位置情報(x, y)を検出する手段は、
前記2つの電極を配置した円周上に、一つの電極を配置し、前記各電極とグランド電位との間に、第1の外部抵抗及び第2の外部抵抗を、それぞれ切り替え可能に並列接続し、前記各電極とグランド電位との間に、前記第1の外部抵抗を接続したときに生じる第1の電圧V₁、V₂、V₃、及び、前記各電極とグランド電位との間に、前記第2の外部抵抗を接続したときに生じる第2の電圧V'₁、V'₂、V'₃を測定する手段と、
前記第1の電圧V₁、V₂、V₃及び前記第2の電圧V'₁、V'₂、V'₃から、比V₁/

V'_1 、 V_2 / V'_2 、 V_3 / V'_3 を算出する手段と、
前記各電極が配置された生体表面の円周に沿った断面内における前記各電極の位置座標を
(a_1 、 b_1)、(a_2 、 b_2)、(a_3 、 b_3)、前記第1の外部抵抗の大きさを無限
大、前記第2の外部抵抗の大きさを R_g 、前記信号源とグランド電極との間の内部抵抗を
 R_{b0} 、を生体の導電率で決まる定数としたとき、前記信号源の前記断面内における位
置(x 、 y)を、下記の連立方程式(1)を解くことによって検出する手段と
を含み、
生体内の信号源の信号強度 V_0 は、下記の式(2)、(3)に基づいて検出する、生体内
信号強度検出装置。

【数1】

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_1}{V'_1} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_2}{V'_2} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_3}{V'_3} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(式1)$$

【数2】

$$V_0 = \frac{\eta + r_1}{\eta} E_1 = \frac{\eta + r_2}{\eta} E_2 \quad \dots\dots(式2)$$

【数3】

$$\eta = \frac{E_2 r_2 - E_1 r_1}{E_1 - E_2} \quad \dots\dots(式3)$$

【請求項2】

生体表面に配置される電極に生じる電圧によって、生体内の信号源の信号強度を検出する
生体内信号強度検出装置であって、
前記生体内の信号源は、複数の筋繊維からなる線状の信号源であって、
前記複数の信号源を囲むように、前記生体表面の円周上に配置する、2つの電極が連結さ
れた電極ユニットと、
前記生体表面の円周上に配置された前記2つの電極を含む平面内における前記信号源の位
置情報(x 、 y)を検出する手段と、
前記各電極とグランド電位との間に生じる電圧 E_1 、 E_2 を測定する手段と、
前記2つの電極を含む平面内における各電極の位置情報、及び、前記信号源の位置情報(x 、 y)から、前記信号源と前記各電極との距離 r_1 、 r_2 を算出する手段と、
を備え、
前記信号源の位置情報(x 、 y)を検出する手段は、
前記2つの電極を配置した円周上に、一つの電極を配置し、前記生体表面の円周上に配置
する3つの電極を、第1の電極、第2の電極、及び第3の電極としたとき、前記第1の電

10

20

30

40

50

極と前記第 2 の電極との間、前記第 2 の電極と前記第 3 の電極との間、及び前記第 3 の電極と前記第 1 の電極との間に、第 1 の外部抵抗及び第 2 の外部抵抗を、それぞれ切り替え可能に並列接続し、前記各電極間に前記第 1 の外部抵抗を並列接続したときに各電極間に生じる第 1 の電圧 V_{12} 、 V_{23} 、 V_{31} 、及び前記各電極間に前記第 2 の外部抵抗を並列接続したときに各電極間に生じる第 2 の電圧 V'_{12} 、 V'_{23} 、 V'_{31} を測定する手段と、

前記第 1 の電圧 V_{12} 、 V_{23} 、 V_{31} 及び前記第 2 の電圧 V'_{12} 、 V'_{23} 、 V'_{31} から、それぞれ比 V_{12}/V'_{12} 、 V_{23}/V'_{23} 、 V_{31}/V'_{31} を算出する手段と、前記各電極が配置された生体表面の円周に沿った断面内における前記各電極の位置座標を (a_1, b_1) 、 (a_2, b_2) 、 (a_3, b_3) 、前記第 1 の外部抵抗の大きさを無限大、前記第 2 の外部抵抗の大きさを R_g 、 α を生体の導電率で決まる定数としたとき、前記信号源の前記断面内における位置 (x, y) を、下記の連立方程式 (4) を解くことによって検出する手段と、

を含み、

生体内の信号源の信号強度 V_0 は、下記の式 (5)、(6) に基づいて検出する、生体内信号強度検出装置。

【数 4】

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{(x-a_1)^2+(y-b_1)^2}+\sqrt{(x-a_2)^2+(y-b_2)^2} &= \alpha\left(\frac{V_{12}}{V'_{12}}-1\right)R_g \\ \sqrt{(x-a_2)^2+(y-b_2)^2}+\sqrt{(x-a_3)^2+(y-b_3)^2} &= \alpha\left(\frac{V_{23}}{V'_{23}}-1\right)R_g \\ \sqrt{(x-a_3)^2+(y-b_3)^2}+\sqrt{(x-a_1)^2+(y-b_1)^2} &= \alpha\left(\frac{V_{31}}{V'_{31}}-1\right)R_g \end{aligned} \right\} \dots\dots(式4)$$

【数 5】

$$V_0 = \frac{\eta + r_1}{\eta} E_1 = \frac{\eta + r_2}{\eta} E_2 \quad \dots\dots(式5)$$

【数 6】

$$\eta = \frac{E_2 r_2 - E_1 r_1}{E_1 - E_2} \quad \dots\dots(式6)$$

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、生体内で活動する組織の活動部位（信号源）の信号強度を検出する生体内信号強度検出方法、及び生体内信号強度検出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

生体表面に電極を取り付けて、その電極に生じた電圧を測定することによって、生体内で活動する組織の活動状態を計測することが行われている。

【 0 0 0 3 】

例えば、特許文献 1 には、生体と所定平面との交線（閉曲線）上の各点において、表面電位を測定することによって、その平面を通る生体の断面内の電位分布を求める方法が開示されている。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 4 】

【 文献 】 特開平 1 1 - 1 1 3 8 6 7 号 公 報

国際公開第 2 0 1 6 / 0 7 5 7 2 6 A 1 号

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 5 】

しかしながら、特許文献 1 に開示された方法では、生体に多数の電極を隙間なく配置して測定する必要があるため、生体への負担が大きい。また、電極数が少なければ、生体への負担は軽減されるが、解像度の低い電位分布しか得ることができない。

【 0 0 0 6 】

本発明は、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位（信号源）の信号強度を検出することができる生体内信号強度検出装置を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 0 7 】

本発明に係る生体内信号強度検出装置は、生体表面に配置される電極に生じる電圧によって、生体内の信号源の信号強度を検出する生体内信号強度検出装置であって、生体内の信号源は、複数の筋繊維からなる線状の信号源であって、複数の信号源を囲むように、生体表面の円周上に配置する、2つの電極が連結された電極ユニットと、生体表面の円周上に配置された2つの電極を含む平面内における信号源の位置情報（ x 、 y ）を検出する手段と、各電極とグランド電位との間に生じる電圧 E_1 、 E_2 を測定する手段と、2つの電極を含む平面内における各電極の位置情報、及び、信号源の位置情報（ x 、 y ）から、信号源と前記各電極との距離 r_1 、 r_2 を算出する手段と、を備え、信号源の位置情報（ x 、 y ）を検出する手段は、2つの電極を配置した円周上に、一つの電極を配置し、各電極とグランド電位との間に、第1の外部抵抗及び第2の外部抵抗を、それぞれ切り替え可能に並列接続し、各電極とグランド電位との間に、第1の外部抵抗を接続したときに生じる第1の電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 、及び、各電極とグランド電位との間に、第2の外部抵抗を接続したときに生じる第2の電圧 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 を測定する手段と、第1の電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 及び第2の電圧 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 から、比 V_1 / V'_1 、 V_2 / V'_2 、 V_3 / V'_3 を算出する手段と、各電極が配置された生体表面の円周に沿った断面内における各電極の位置座標を（ a_1 、 b_1 ）、（ a_2 、 b_2 ）、（ a_3 、 b_3 ）、第1の外部抵抗の大きさを無限大、第2の外部抵抗の大きさを R_g 、信号源とグランド電極との間の内部抵抗を R_{b0} 、を生体の導電率で決まる定数としたとき、信号源の断面内における位置（ x 、 y ）を、下記の連立方程式（1）を解くことによって検出する手段とを含み、生体内の信号源の信号強度 V_0 は、下記の式（2）、（3）に基づいて検出することを特徴とする。

【 数 4 0 】

10

20

30

40

50

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_1}{V'_1} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_2}{V'_2} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_3}{V'_3} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(式1)$$

10

【数 4 1】

$$V_0 = \frac{\eta + r_1}{\eta} E_1 = \frac{\eta + r_2}{\eta} E_2 \quad \dots\dots(式2)$$

【数 4 2】

$$\eta = \frac{E_2 r_2 - E_1 r_1}{E_1 - E_2} \quad \dots\dots(式3)$$

20

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位（信号源）の信号強度を検出することが可能な生体内信号強度検出装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0009】

【図 1】本発明の検出対象とする信号源のモデルを示した図である。

【図 2】本発明の第 1 の本実施形態における生体内信号源の信号強度を検出する方法を説明した図である。

【図 3】本発明の第 2 の本実施形態における生体内信号源の信号強度を検出する方法を説明した図である。

【図 4】信号源の位置検出方法を説明する電気回路網を示した図である。

【図 5】各電極と外部抵抗との接続状態の切り替えのステップを示した表である。

【図 6】信号源の位置を検出する方法を説明した図である。

【図 7】信号源の位置を検出する方法を説明した図である。

40

【図 8】信号源の位置検出方法を説明する電気回路網を示した図である。

【図 9】各電極と外部抵抗との接続状態の切り替えのステップを示した表である。

【図 10】信号源の位置を検出する方法を説明した図である。

【図 11】本発明の他の実施形態における生体内信号強度検出装置の構成を示したブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、本発明の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、本発明は、以下の実施形態に限定されるものではない。また、本発明の効果を奏する範囲を逸脱しない範囲で、適宜変更は可能である。なお、以下の説明において、特に断らない限り、「電極」は、生

50

体表面に取り付ける部材をいい、「電位」は、電氣的レベルをいい、「電圧」は、測定された電氣的レベルをいう。

【0011】

本願出願人は、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位（信号源）の位置を精度よく検出することができる方法を提案している（特許文献2）。

【0012】

本提案による生体内の信号源位置検出方法は、生体表面に、少なくとも3つの電極を配置し、各電極とグランド電位との間に、抵抗値の異なる2つの外部抵抗を並列に接続して、第1の外部抵抗に並列接続したときに各電極に生じる電圧 V_i ($i = 1, 2, 3$)と、第2の外部抵抗に並列接続したときに各電極に生じる電圧 V'_i ($i = 1, 2, 3$)を測定するものである。ここで、各電極と信号源との間の内部抵抗 R_i ($i = 1, 2, 3$)が、各電極と信号源との間の距離 L_i ($i = 1, 2, 3$)に比例するとすると、距離 L_i ($i = 1, 2, 3$)は、電圧比(V_i / V'_i)を変数とする3つの連立方程式で表すことができる。従って、測定した3つの電圧比(V_i / V'_i)を用いて、この3つの連立方程式を解くことによって、信号源の3次元座標(x, y, z)を求めることができる。

【0013】

しかしながら、本提案による方法では、信号源の位置を検出することはできるが、信号源の信号強度を検出することはできない。そこで、本願発明は、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位（信号源）の信号強度を検出することが可能な生体内信号強度検出方法を提案するものである。

【0014】

（第1の実施形態）

図1は、本発明の実施形態において、検出対象とする信号源のモデルを示した図である。

【0015】

図1に示した信号源のモデルは、腕等の骨格筋を構成する複数の筋繊維40で、各筋繊維40は、図中の矢印の向きに沿って線状に存在する。そして、骨格筋が活動（収縮）すると、特定の筋繊維40が信号源 V_s となり、高い電位を発生する。この信号源 V_s となる筋繊維40の活動部位は、筋繊維40の向きに沿って線状に存在するため、信号源 V_s の電位分布は一様となる。従って、図1に示すように、信号源 V_s の検出範囲を、A-A線に沿った断面内に限定すれば、線状の信号源 V_s を、二次元座標(x, y)の点として捉えることができる。

【0016】

図2は、本実施形態における生体内信号源の信号強度を検出する方法を模式的に説明した図である。

【0017】

図2に示すように、2つの電極21、22を、複数の筋繊維（線状の信号源）40を囲むように、生体10の表面の円周10A上に配置する。また、生体10の表面には、電極21、22で測定する電圧の影響を受けない位置にグランド電極（不図示）も配置される。

【0018】

ところで、生体内の信号源 V_s の信号強度 V_0 は、信号源 V_s から離れるに従い減衰する。従って、生体10の表面10Aに配置された各電極21、22で測定される信号強度（電圧 E_i ）は、信号源 V_s から各電極21、22までの距離を r_i とすると、以下の式(1-1)（減衰式）で表される。

【0019】

【数1】

$$E_i = \frac{\eta \cdot V_0}{\eta \cdot r_i} \quad i=1, 2 \quad \dots\dots(式1-1)$$

【0020】

10

20

30

40

50

ここで、 η は減衰係数である。

【 0 0 2 1 】

すなわち、図 2 に示した 2 つの電極 2 1、2 2 で測定される電圧 E_1 、 E_2 は、以下の式 (1 - 2) で表される。

【 0 0 2 2 】

【数 2】

$$E_1 = \frac{\eta \cdot V_0}{\eta \cdot r_1}, \quad E_2 = \frac{\eta \cdot V_0}{\eta \cdot r_2} \quad \dots\dots(式1-2)$$

10

【 0 0 2 3 】

式 (1 - 2) から V_0 を消去すると、以下の式 (1 - 3) が導出される。

【 0 0 2 4 】

【数 3】

$$E_1(\eta + r_1) = E_2(\eta + r_2) \quad \dots\dots(式1-3)$$

【 0 0 2 5 】

従って、式 (1 - 3) から、減衰係数 η は、以下の式 (1 - 4) から求めることができる。

【 0 0 2 6 】

【数 4】

$$\eta = \frac{E_2 r_2 - E_1 r_1}{E_1 - E_2} \quad \dots\dots(式1-4)$$

20

【 0 0 2 7 】

また、式 (1 - 2) から、信号源 V_s の信号強度 V_0 は、以下の式 (1 - 5) から求めることができる。

【 0 0 2 8 】

【数 5】

$$V_0 = \frac{\eta + r_1}{\eta} E_1 = \frac{\eta + r_2}{\eta} E_2 \quad \dots\dots(式1-5)$$

30

【 0 0 2 9 】

式 (1 - 4) に示すように、減衰係数 η は、各電極 2 1、2 2 で測定された電圧 E_1 、 E_2 、及び、信号源 V_s から各電極 2 1、2 2 までの距離 r_1 、 r_2 を用いて求めることができる。

40

【 0 0 3 0 】

ここで、信号源 V_s の位置情報 (x 、 y) は、後述する方法により検出することができる。従って、2 つの電極 2 1、2 2 を含む平面内における各電極の位置情報 (X_i 、 Y_i) ($i = 1, 2$) と、信号源 V_s の位置情報 (x 、 y) から、信号源 V_s と各電極 2 1、2 2 との距離 r_i ($i = 1, 2$) を算出することができる。

【 0 0 3 1 】

これにより、式 (1 - 5) に示すように、信号源 V_s の信号強度 V_0 は、式 (1 - 4) により求めた η と、電極 2 1 若しくは電極 2 2 で測定された電圧 E_1 、 E_2 、及び信号源 V

50

s と電極 2 1 若しくは電極 2 2 との距離 r_1 、 r_2 を用いて求めることができる。

【0032】

すなわち、本実施形態における生体内信号強度検出方法は、複数の信号源を囲むように、生体表面の円周上に、2つの電極 2 1、2 2 を配置する工程と、2つの電極 2 1、2 2 を含む平面内における信号源 V_s の位置情報 (x, y) を求める工程と、2つの電極 2 1、2 2 を含む平面内における各電極の位置情報 (X_i, Y_i) ($i = 1, 2$)、及び、信号源 V_s の位置情報 (x, y) から、信号源 V_s と各電極 2 1、2 2 との距離 r_i ($i = 1, 2$) を算出する工程と、各電極 2 1、2 2 とグランド電位との間に生じる電圧 E_i ($i = 1, 2$) を測定する工程とを含み、距離 r_i ($i = 1, 2$)、電圧 E_i ($i = 1, 2$)、及び、体内における信号源の減衰式に基づいて、生体内の信号源の信号強度を検出するものである。

10

【0033】

本実施形態によれば、信号源 V_s の位置情報 (x, y) 、信号源 V_s を囲むように、生体表面の円周上に配置した2つの電極 2 1、2 2 の位置情報 (X_i, Y_i) ($i = 1, 2$)、及び各電極 2 1、2 2 で測定された電圧 E_i ($i = 1, 2$) を用いて、式 (1 - 1) で示した体内における信号源 V_s の減衰式に基づいて、生体内の信号源 V_s の信号強度 V_0 を検出することができる。これにより、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位 (信号源) の信号強度を検出することが可能となる。

【0034】

(第2の実施形態)

20

図3は、本発明の第2の実施形態における生体内信号源の信号強度を検出する方法を説明した図である。

【0035】

図3に示すように、3つの電極 2 1、2 2、2 3 を、複数の筋繊維 (線状の信号源) 4 0 を囲むように、生体 1 0 の表面の円周 1 0 A 上に配置する。また、生体 1 0 の表面には、電極 2 1、2 2、2 3 で測定する電圧の影響を受けない位置にグランド電極 (不図示) も配置される。

【0036】

図3に示した電極 2 1 と電極 2 2 との間で生じる電圧 E_1 は、式 (1 - 1) で示した減衰式に基づいて、以下の式 (2 - 1) のように表される。

30

【0037】

【数6】

$$E_1 = \left| \frac{\eta \cdot V_0}{\eta + r_1} - \frac{\eta \cdot V_0}{\eta + r_2} \right| \quad \dots\dots(式2-1)$$

【0038】

ここで、 V_0 は、生体内の信号源 V_s の信号強度、 r_1 、 r_2 は、信号源 V_s から電極 2 1、2 2 までの距離、 η は、式 (1 - 1) で示した減衰式の減衰係数である。

40

【0039】

式 (2 - 1) から、生体内の信号源 V_s の信号強度 V_0 は、以下の式 (2 - 2) で表される。

【0040】

【数7】

$$\eta \cdot V_0 = \frac{\pm E_1}{\left(\frac{1}{\eta + r_1} - \frac{1}{\eta + r_2} \right)} \quad \dots\dots(\text{式2-2})$$

【 0 0 4 1 】

同様に、電極 2 2 と電極 2 3 との間で生じる電圧 E_2 は、式 (1 - 1) で示した減衰式に基づいて、以下の式 (2 - 3) のように表される。

10

【 0 0 4 2 】

【 数 8 】

$$E_2 = \left| \frac{\eta \cdot V_0}{\eta + r_2} - \frac{\eta \cdot V_0}{\eta + r_3} \right| \quad \dots\dots(\text{式2-3})$$

【 0 0 4 3 】

ここで、 r_3 は、信号源 V_s から電極 2 3 までの距離である。

20

【 0 0 4 4 】

式 (2 - 3) から、生体内の信号源 V_s の信号強度 V_0 は、以下の式 (2 - 4) で表される。

【 0 0 4 5 】

【 数 9 】

$$\eta \cdot V_0 = \frac{\pm E_2}{\left(\frac{1}{\eta + r_2} - \frac{1}{\eta + r_3} \right)} \quad \dots\dots(\text{式2-4})$$

30

【 0 0 4 6 】

式 (2 - 2) 、 (2 - 4) から V_0 を消去すると、以下の式 (2 - 5) が導出される。

【 0 0 4 7 】

【 数 1 0 】

$$\frac{\pm E_1}{\left(\frac{1}{\eta + r_1} - \frac{1}{\eta + r_2} \right)} = \frac{\pm E_2}{\left(\frac{1}{\eta + r_2} - \frac{1}{\eta + r_3} \right)} \quad \dots\dots(\text{式2-5})$$

40

【 0 0 4 8 】

さらに、式 (2 - 5) から、減衰係数 は、以下の式 (2 - 6) で表される。

【 0 0 4 9 】

【 数 1 1 】

$$\frac{(\eta + r_1)}{(\eta + r_3)} = \pm \frac{E_2 \cdot (r_2 - r_1)}{E_1 \cdot (r_3 - r_2)} \quad \dots\dots(\text{式2-6})$$

50

【 0 0 5 0 】

ここで、式(2-6)の右辺を、以下の式(2-7)のように定数Aで置き換えると、式(2-6)は、以下の式(2-8)のように表される。

【 0 0 5 1 】

【数12】

$$A = \frac{E_2 \cdot (r_2 - r_1)}{E_1 \cdot (r_3 - r_2)} \quad \dots\dots(\text{式2-7})$$

10

【 0 0 5 2 】

【数13】

$$\frac{(\eta + r_1)}{(\eta + r_3)} = \pm A \quad \dots\dots(\text{式2-8})$$

【 0 0 5 3 】

従って、式(2-8)から、減衰係数 η は、以下の式(2-9)から求めることができる。

【 0 0 5 4 】

【数14】

$$\eta = \frac{\pm A r_3 - r_1}{(1 \pm A)} \quad \dots\dots(\text{式2-9})$$

20

【 0 0 5 5 】

また、式(2-2)から、信号源Vsの信号強度V₀は、以下の式(2-10)から求めることができる。

【 0 0 5 6 】

【数15】

$$V_0 = \frac{\pm E_1}{\eta \cdot \left(\frac{1}{\eta + r_1} - \frac{1}{\eta + r_2} \right)} \quad \dots\dots(\text{式2-10})$$

30

【 0 0 5 7 】

式(2-9)及び式(2-7)から、減衰係数 η は、各電極間に生じるE₁、E₂、及び、信号源Vsから各電極までの距離r₁、r₂、r₃を用いて求めることができる。

40

【 0 0 5 8 】

ここで、信号源Vsの位置情報(x、y)は、後述する方法により検出することができる。従って、3つの電極21、22、23を含む平面内における各電極の位置情報(X_i、Y_i)(i=1,2,3)と、信号源Vsの位置情報(x、y)から、信号源Vsと各電極21、22、23との距離r_i(i=1,2,3)を算出することができる。

【 0 0 5 9 】

これにより、式(2-10)から、信号源Vsの信号強度V₀は、式(2-9)により求めた η と、各電極間に生じた電圧E₁、E₂、及び信号源Vsと各電極までの距離r₁、r₂、r₃を用いて求めることができる。

【 0 0 6 0 】

50

このように、本実施形態によれば、信号源 V_s の位置情報 (x, y) 、信号源 V_s を囲むように、生体表面の円周上に配置した3つの電極 2_1 、 2_2 、 2_3 の位置情報 (X_i, Y_i) ($i = 1, 2, 3$)、及び各電極間に生じた電圧 E_i ($i = 1, 2$) を用いて、式 (1-1) で示した体内における信号源 V_s の減衰式に基づいて、生体内の信号源 V_s の信号強度 V_0 を検出することができる。これにより、少ない数の電極を用いて、生体内で活動する組織の活動部位 (信号源) の信号強度を検出することが可能となる。

【0061】

なお、本実施形態では、式 (2-1) 及び式 (2-3) に示したように、各電極間に生じた電圧 E_1 、 E_2 を、各電極で測定した電圧の差分により求めているため、外部からのノイズをキャンセルすることができる。そのため、電極間に生じた電圧 E_i を、ノイズの影響を少なくして測定できるため、信号源 V_s の信号強度をより精度良く検出することができる。

10

【0062】

(信号源の位置検出方法)

図4～図7を参照しながら、本実施形態における信号源 V_s の信号強度検出方法に用いる信号源の位置検出方法について説明する。

【0063】

図4は、生体内の信号源 V_s の位置を検出する方法を説明する電気回路網を示した図である。

【0064】

図4に示すように、生体10の表面に、3つの電極 2_1 、 2_2 、 2_3 を配置する。また、各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 とグランド電位との間に、相互に切り替え可能な第1の外部抵抗及び第2の外部抵抗を並列接続する。ここでは、第1の外部抵抗の抵抗値を無限大とし、第2の外部抵抗の抵抗値を R_g としている。これにより、各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 とグランド電位との間は、切り替え手段 SW によって、外部抵抗 R_g が接続されていない場合と、外部抵抗 R_g が接続されている場合とに切り替えられる。なお、生体10の表面に、電極 2_1 、 2_2 、 2_3 で測定する電圧の影響を受けない位置にグランド電極 2_0 を配置し、これをグランド電位にしているが、必ずしも、生体10の表面に、グランド電極 2_0 を配置する必要はない。

20

【0065】

生体10の表面に配置した各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 には、生体10内の信号源 V_s からの電圧が発生し、その電圧をアンプ30で増幅して、出力電圧 V_{out} が出力される。各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 とアンプ30の間には、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 がそれぞれ配置され、各スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 を順次、導通させることにより、各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 に生じた電圧が、アンプ30の出力電圧 V_{out} として測定される。

30

【0066】

図5に示すように、切り替え手段 SW 、及びスイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 を、それぞれ切り替える (ステップ1～ステップ6)。これにより、各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 とグランド電位との間に、外部抵抗が接続されていないときに各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 に生じる第1の電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 、及び各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 とグランド電位との間に、外部抵抗 R_g が接続されているときに各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 に生じる第2の電圧 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 が測定される。なお、図5では、各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 を、それぞれ、チャンネル ch_1 、 ch_2 、 ch_3 と表示している。

40

【0067】

図6は、複数の筋繊維40を囲むように、生体10の表面の円周10A上に、3つの電極 2_1 、 2_2 、 2_3 を配置した図で、信号源 V_s と各電極 2_1 、 2_2 、 2_3 との間の内部抵抗を、それぞれ、 R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_{b3} と表している。

【0068】

このとき、図5に示したステップ1において、電極 2_1 (チャンネル ch_1) で生じる第1の電圧 (外部抵抗が接続されていない場合) V_1 は、式 (3-1) で与えられる。

50

【 0 0 6 9 】

【 数 1 6 】

$$V_{out} = V_1 \quad \dots\dots(式3-1)$$

【 0 0 7 0 】

一方、ステップ4において、電極21（チャンネルch₁）で生じる第2の電圧（外部抵抗R_gが接続されている場合）V'₁は、アンプ30の入力抵抗R_{in}が非常に大きいとき、式（3-2）で与えられる。

10

【 0 0 7 1 】

【 数 1 7 】

$$V_{out} = V'_1 = \frac{R_g}{R_{b1} + R_{b0} + R_g} V_1 \quad \dots\dots(式3-2)$$

【 0 0 7 2 】

ここで、R_{b0}は、信号源V_sとグランド電極20との間の内部抵抗を表す。

【 0 0 7 3 】

20

式（3-1）及び式（3-2）から、電極21（チャンネルch₁）において、外部抵抗R_gが接続されていない場合の第1の電圧V₁と、外部抵抗R_gが接続されている場合の第2の電圧V'₁との比V'₁/V₁（減衰比）は、式（3-3）で与えられる。

【 0 0 7 4 】

【 数 1 8 】

$$\frac{V'_1}{V_1} = \frac{R_g}{R_{b1} + R_{b0} + R_g} \quad \dots\dots(式3-3)$$

30

【 0 0 7 5 】

同様に、電極22（チャンネルch₂）において、外部抵抗R_gが接続されていない場合の第1の電圧V₂と、外部抵抗R_gが接続されている場合の第2の電圧V'₂との比V'₂/V₂（減衰比）、及び、電極23（チャンネルch₃）において、外部抵抗R_gが接続されていない場合の第1の電圧V₃と、外部抵抗R_gが接続されている場合の第2の電圧V'₃との比V'₃/V₃（減衰比）は、それぞれ、式（3-4）、式（3-5）で与えられる。

【 0 0 7 6 】

【 数 1 9 】

$$\frac{V'_2}{V_2} = \frac{R_g}{R_{b2} + R_{b0} + R_g} \quad \dots\dots(式3-4)$$

40

【 0 0 7 7 】

【 数 2 0 】

50

$$\frac{V'_3}{V_3} = \frac{R_g}{R_{b3} + R_{b0} + R_g} \quad \dots\dots(式3-5)$$

【0078】

ところで、生体10内の導電率が一樣であると仮定すると、内部抵抗の抵抗値 R_{b1} 、 R_{b2} 、 R_{b3} は、それぞれ、生体10内の信号源 V_s と、各電極 21、22、23 との距離に比例すると考えられる。従って、式(3-3)、(3-4)、(3-5) から、生体10内の信号源 V_s と、各電極 21、22、23 との距離 L_1 、 L_2 、 L_3 は、それぞれ、式(3-6)、(3-7)、(3-8) で表される。

10

【0079】

【数21】

$$L_1 = \beta R_{b1} = \beta \left\{ \left(\frac{V'_1}{V_1} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \quad \dots\dots(式3-6)$$

20

【0080】

【数22】

$$L_2 = \beta R_{b2} = \beta \left\{ \left(\frac{V'_2}{V_2} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \quad \dots\dots(式3-7)$$

【0081】

【数23】

$$L_3 = \beta R_{b3} = \beta \left\{ \left(\frac{V'_3}{V_3} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \quad \dots\dots(式3-8)$$

30

【0082】

ここで、 β は、内部抵抗 R_{bi} と距離 L_i ($i = 1, 2, 3$) との比例定数で、生体10の導電率等で定まる。

【0083】

式(3-6)、(3-7)、(3-8) に示すように、距離 L_1 、 L_2 、 L_3 は、それぞれ、減衰比 (V'_1/V_1 、 V'_2/V_2 、 V'_3/V_3) の逆数の関数として表される。そして、図7に示すように、信号源 V_s は、各電極 21、22、23 を中心とする半径 L_1 、 L_2 、 L_3 の円 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 の交点に存在すると考えられる。各電極 21、22、23 の位置座標を、 (a_1, b_1) 、 (a_2, b_2) 、 (a_3, b_3) とすると、円 Q_1 、 Q_2 、 Q_3 は、それぞれ、以下の式(3-9)、(3-10)、(3-11) で表される。

40

【0084】

【数24】

50

$$\sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} = L_1 \quad \dots\dots(\text{式3-9})$$

【 0 0 8 5 】

【 数 2 5 】

$$\sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} = L_2 \quad \dots\dots(\text{式3-10})$$

10

【 0 0 8 6 】

【 数 2 6 】

$$\sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2} = L_3 \quad \dots\dots(\text{式3-11})$$

【 0 0 8 7 】

従って、式(3-6)、(3-7)、(3-8)で求めた L_1 、 L_2 、 L_3 を用いて、上記の式(3-9)、(3-10)、(3-11)は、以下の式(3-12)で表される3つの連立方程式になる。

20

【 0 0 8 8 】

【 数 2 7 】

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{(x - a_1)^2 + (y - b_1)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_1}{V'_1} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_2)^2 + (y - b_2)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_2}{V'_2} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \\ \sqrt{(x - a_3)^2 + (y - b_3)^2} &= \beta \left\{ \left(\frac{V_3}{V'_3} - 1 \right) R_g - R_{b0} \right\} \end{aligned} \right\} \dots\dots(\text{式3-12})$$

30

【 0 0 8 9 】

ここで、式(3-12)で表される3つの連立方程式の未知数は、信号源 V_s の二次元座標 (x, y) と、定数 β 、 R_{b0} の4つになる。従って、 R_{b0} を予め与えることによって、3つの連立方程式を解くことにより、信号源 V_s の二次元座標 (x, y) と、定数 β を求めることができる。

40

【 0 0 9 0 】

このように、生体10の表面に配置した3つの電極21、22、23と、グランド電位との間に外部抵抗を並列接続し、その接続状態を切り替えて、各電極21、22、23に生じる電圧の比(減衰比)を測定することによって、生体10内の信号源 V_s の2次元位置 (x, y) を容易に検出することができる。これにより、少ない数の電極を用いて、生体内の信号源 V_s の2次元位置を精度よく検出することができる。

【 0 0 9 1 】

また、内部抵抗 R_{bi} と距離 L_i ($i = 1, 2, 3$)との比例定数 β を、上記の連立方程

50

式を解くことによって求めることができる。そのため、比例定数が、体内の組成に影響を受けて変動したり、あるいは、検出中に値が変化したりしても、生体内の信号源 V_s の 2 次元位置を、より精度よく検出することができる。

【 0 0 9 2 】

なお、生体 10 内の信号源 V_s は 1 つと仮定して説明したが、実際には、複数の信号源が同時に発生する場合もある。このような場合でも、これら信号源の電気信号の最も支配的な 1 点を信号源として求めることができる。

【 0 0 9 3 】

また、図 5 に示したように、切り替え手段 SW 、及びスイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 を切り替えて、各電極 21、22、23 における第 1 の電圧 V_1 、 V_2 、 V_3 、及び第 2 の電圧 V'_1 、 V'_2 、 V'_3 を順次測定している。従って、これらの切り替え時間内に、信号電 V_s の電位が変化すると、信号源 V_s の位置測定に誤差が生じるおそれがある。そのため、各電極及び外部抵抗の切り替えは、できるだけ高速で行うことが好ましい。例えば、 $1 \mu s$ 以下、望ましくは $0.1 \mu s$ 以下で切り替えることが好ましい。

【 0 0 9 4 】

なお、上記の説明では、第 1 の外部抵抗の抵抗値を無限大（非導通）とし、第 2 の外部抵抗の抵抗値を R_g としたが、第 1 の外部抵抗を、第 2 の外部抵抗と異なる大きさの抵抗値にしてもよい。

【 0 0 9 5 】

この場合、生体 10 の表面の円周上に 3 つの電極 21、22、23 を配置するとともに、各電極 21、22、23 とグランド電位との間に、相互に切り替え可能な第 1 の外部抵抗及び第 2 の外部抵抗を並列接続する。そして、各電極 21、22、23 とグランド電位との間に、第 1 の外部抵抗を並列接続したときに各電極 21、22、23 に生じる第 1 の電圧 V_i ($i = 1, 2, 3$)、及び各電極 21、22、23 とグランド電位との間に、第 2 の外部抵抗を並列接続したときに各電極 21、22、23 に生じる第 2 の電圧 V'_i ($i = 1, 2, 3$) を測定する。そして、第 1 の電圧 V_i 及び第 2 の電圧 V'_i から比 V_1 / V'_1 ($i = 1, 2, 3$) を算出し、これら 3 つの比 V_i / V'_i ($i = 1, 2, 3$) に基づいて、生体内の信号源 V_s の位置を検出すればよい。

【 0 0 9 6 】

次に、図 8 ~ 図 10 を参照しながら、本実施形態における信号源 V_s の信号強度検出方法に用いる他の信号源位置検出方法について説明する。

【 0 0 9 7 】

図 8 は、生体内の信号源 V_s の位置を検出する方法を説明する電気回路網を示した図である。

【 0 0 9 8 】

図 8 に示すように、生体 10 の表面に、3 つの電極 21、22、23 を配置する。具体的には、図 6 に示したように、3 つの電極 21、22、23 を、複数の筋繊維 40 を囲むように、生体 10 の表面の円周 10A 上に配置する。また、第 1 の電極 21 と第 2 の電極 22 との間、第 2 の電極 22 と第 3 の電極 23 との間、及び第 3 の電極 23 と第 1 の電極 21 との間に、それぞれ、相互に切り替え可能な第 1 の外部抵抗及び第 2 の外部抵抗を並列接続する。なお、本実施形態でも、第 1 の実施形態と同様に、第 1 の外部抵抗の抵抗値を無限大とし、第 2 の外部抵抗の抵抗値を R_g とする。また、生体 10 の表面に、電極 21、22、23 で測定する電圧の影響を受けない位置にグランド電極 20 を配置し、これをグランド電位にしている。

【 0 0 9 9 】

図 8 に示すように、各電極 21、22、23 と差動アンプ 30 との間に、スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、及び SS_1 、 SS_2 、 SS_3 が配置されている。そして、各スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、及び SS_1 、 SS_2 、 SS_3 を、図 9 に示すように、順次、導通させることによって、第 1 の電極 21 と第 2 の電極 22 との間、第 2 の電極 22 と第 3 の電極 23 との間、及び第 3 の電極 23 と第 1 の電極 21 との間に生じた電圧が、差動アンプ 30 の出

10

20

30

40

50

力電圧 V_{out} として測定される。また、各電極間は、切り替え手段 SW によって、外部抵抗が接続されていない場合と、外部抵抗 R_g が接続されている場合とに切り替えられる。これにより、図 9 に示すように、切り替え手段 SW 、及び各スイッチ S_1 、 S_2 、 S_3 、 S_4 、 S_5 、 S_6 、 S_7 、 S_8 、 S_9 、 S_{10} 、 S_{11} 、 S_{12} 、 S_{13} 、 S_{14} 、 S_{15} 、 S_{16} 、 S_{17} 、 S_{18} 、 S_{19} 、 S_{20} 、 S_{21} 、 S_{22} 、 S_{23} 、 S_{24} 、 S_{25} 、 S_{26} 、 S_{27} 、 S_{28} 、 S_{29} 、 S_{30} 、 S_{31} 、 S_{32} 、 S_{33} 、 S_{34} 、 S_{35} 、 S_{36} 、 S_{37} 、 S_{38} 、 S_{39} 、 S_{40} 、 S_{41} 、 S_{42} 、 S_{43} 、 S_{44} 、 S_{45} 、 S_{46} 、 S_{47} 、 S_{48} 、 S_{49} 、 S_{50} 、 S_{51} 、 S_{52} 、 S_{53} 、 S_{54} 、 S_{55} 、 S_{56} 、 S_{57} 、 S_{58} 、 S_{59} 、 S_{60} 、 S_{61} 、 S_{62} 、 S_{63} 、 S_{64} 、 S_{65} 、 S_{66} 、 S_{67} 、 S_{68} 、 S_{69} 、 S_{70} 、 S_{71} 、 S_{72} 、 S_{73} 、 S_{74} 、 S_{75} 、 S_{76} 、 S_{77} 、 S_{78} 、 S_{79} 、 S_{80} 、 S_{81} 、 S_{82} 、 S_{83} 、 S_{84} 、 S_{85} 、 S_{86} 、 S_{87} 、 S_{88} 、 S_{89} 、 S_{90} 、 S_{91} 、 S_{92} 、 S_{93} 、 S_{94} 、 S_{95} 、 S_{96} 、 S_{97} 、 S_{98} 、 S_{99} 、 S_{100} を、それぞれ切り替えることによって（ステップ 1～ステップ 6）、各電極間に外部抵抗 R_g が接続されていないときに各電極間に生じる第 1 の電圧 V_{12} 、 V_{23} 、 V_{31} 、及び各電極間に外部抵抗 R_g が接続されているときに各電極間に生じる第 2 の電圧 V'_{12} 、 V'_{23} 、 V'_{31} が測定される。なお、図 8 には、各電極 21、22、23 を、それぞれ、チャンネル ch_1 、 ch_2 、 ch_3 と表示している。

【0100】

図 9 に示したステップ 1 において、電極 21 と電極 22 との間（チャンネル ch_1 と ch_2 との間）で生じる第 1 の電圧（外部抵抗が接続されていない場合） V_{12} は、式（4-1）で与えられる。

10

【0101】

【数 28】

$$V_{out} = V_{12} \quad \dots(\text{式4-1})$$

【0102】

一方、ステップ 4 において、電極 21 と電極 22 との間（チャンネル ch_1 と ch_2 との間）で生じる第 2 の電圧（外部抵抗 R_g が接続されている場合） V'_{12} は、アンプ 30 の入力抵抗 R_{in} が非常に大きいとき、式（4-2）で与えられる。

20

【0103】

【数 29】

$$V_{out} = V'_{12} = \frac{R_g}{R_{b1} + R_{b2} + R_g} V_{12} \quad \dots(\text{式4-2})$$

【0104】

ここで、 R_{b1} 及び R_{b2} は、それぞれ、生体 10 内の信号源 V_s と電極 21（チャンネル ch_1 ）の間の内部抵抗、及び信号源 V_s と電極 22（チャンネル ch_2 ）の間の内部抵抗を表す。

30

【0105】

式（4-1）及び式（4-2）から、電極 21 と電極 22 との間（チャンネル ch_1 と ch_2 との間）で生じる第 1 の電圧 V_{12} と第 2 の電圧 V'_{12} の比 V'_{12} / V_{12} （減衰比）は、式（4-3）で与えられる。

【0106】

【数 30】

$$\frac{V'_{12}}{V_{12}} = \frac{R_g}{R_{b1} + R_{b2} + R_g} \quad \dots\dots (\text{式4-3})$$

40

【0107】

同様に、電極 22 と電極 23 との間（チャンネル ch_2 と ch_3 との間）で生じる第 1 の電圧 V_{23} と第 2 の電圧 V'_{23} の比 V'_{23} / V_{23} （減衰比）、及び、電極 23 と電極 21 との間（チャンネル ch_3 と ch_1 との間）で生じる第 1 の電圧 V_{31} と第 2 の電圧 V'_{31} の比 V'_{31} / V_{31} （減衰比）は、それぞれ、式（4-4）、（4-5）で与えられる。

50

【 0 1 0 8 】

【数 3 1】

$$\frac{V'_{23}}{V_{23}} = \frac{R_g}{R_{b2} + R_{b3} + R_g} \quad \dots\dots (式4-4)$$

【 0 1 0 9 】

【数 3 2】

$$\frac{V'_{31}}{V_{31}} = \frac{R_g}{R_{b3} + R_{b1} + R_g} \quad \dots\dots (式4-5)$$

10

【 0 1 1 0 】

ここで、 R_{b3} は、生体 10 内の信号源 V_s と電極 23 (ch_3) との間の内部抵抗の抵抗値を表す。

【 0 1 1 1 】

各電極間に生じる電圧の測定において、生体 10 内の内部抵抗は、各電極と信号源との間の内部抵抗の和で表される。例えば、電極 21 と電極 22 との間 (チャネル ch_1 と ch_2 との間) で生じる第 1 の電圧 V_{12} 及び第 2 の電圧 V'_{12} の測定において、生体 10 内の内部抵抗は、 $R_{b1} + R_{b2}$ で表される。

20

【 0 1 1 2 】

ここで、生体 10 内の導電率が一様であると仮定すると、内部抵抗の和 ($R_{b1} + R_{b2}$) は、電極 21 と信号源 V_s との距離 D_1 と、電極 22 と信号源 V_s との距離 D_2 との和 ($D_1 + D_2$) に比例すると考えられる。従って、式 (2 - 3)、(2 - 4)、(2 - 5) から、各電極と信号源 V_s との距離の和 ($D_1 + D_2$)、($D_2 + D_3$)、($D_3 + D_1$) は、それぞれ、式 (4 - 6)、(4 - 7)、(4 - 8) で表される。

【 0 1 1 3 】

【数 3 3】

$$D_1 + D_2 = \alpha (R_{b1} + R_{b2}) = \alpha \left(\frac{V_{12}}{V'_{12}} - 1 \right) R_g \quad \dots\dots (式4-6)$$

30

【 0 1 1 4 】

【数 3 4】

$$D_2 + D_3 = \alpha (R_{b2} + R_{b3}) = \alpha \left(\frac{V_{23}}{V'_{23}} - 1 \right) R_g \quad \dots\dots (式4-7)$$

40

【 0 1 1 5 】

【数 3 5】

$$D_3 + D_1 = \alpha (R_{b3} + R_{b1}) = \alpha \left(\frac{V_{31}}{V'_{31}} - 1 \right) R_g \quad \dots\dots (式4-8)$$

50

【0116】

ここで、 α_i は、内部抵抗 R_{bi} と距離 D_i ($i = 1, 2, 3$) との比例定数で、生体 10 の導電率等で定まる。

【0117】

式 (4-6)、(4-7)、(4-8) に示すように、各電極と信号源 V_s との距離の和 ($D_1 + D_2$)、($D_2 + D_3$)、($D_3 + D_1$) は、それぞれ、減衰比 (V'_{12} / V_{12})、(V'_{23} / V_{23})、(V'_{31} / V_{31}) の逆数の関数として表される。そして、図 10 に示すように、信号源 V_s は、電極 21、22 (チャンネル ch_1 、 ch_2) を焦点とする楕円 P_1 、電極 22、23 (チャンネル ch_2 、 ch_3) を焦点とする楕円 P_2 、及び電極 23、21 (チャンネル ch_3 、 ch_1) を焦点とする楕円 P_3 の交点に存在すると考
えられる。 10

【0118】

各電極 21、22、23 の位置座標を、(a_1, b_1)、(a_2, b_2)、(a_3, b_3) とすると、楕円 P_1 、 P_2 、 P_3 は、それぞれ、以下の式 (4-9)、(4-10)、(4-11) で表される。

【0119】

【数36】

$$\sqrt{(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2} + \sqrt{(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2} = D_1 + D_2 \dots\dots (式4-9)$$

20

【0120】

【数37】

$$\sqrt{(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2} + \sqrt{(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2} = D_2 + D_3 \dots\dots (式4-10)$$

【0121】

【数38】

$$\sqrt{(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2} + \sqrt{(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2} = D_3 + D_1 \dots\dots (式4-11)$$

30

【0122】

従って、式 (4-6)、(4-7)、(4-8) で求めた ($D_1 + D_2$)、($D_2 + D_3$)、($D_3 + D_1$) を用いて、以下の式 (4-12) で表される 3 つの連立方程式を解くことによって、信号源 V_s の二次元座標 (x, y) を求めることができる。

【0123】

【数39】

40

50

$$\left. \begin{aligned} \sqrt{(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2} + \sqrt{(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2} &= \alpha \left(\frac{V_{12}}{V'_{12}} - 1 \right) R_g \\ \sqrt{(x-a_2)^2 + (y-b_2)^2} + \sqrt{(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2} &= \alpha \left(\frac{V_{23}}{V'_{23}} - 1 \right) R_g \\ \sqrt{(x-a_3)^2 + (y-b_3)^2} + \sqrt{(x-a_1)^2 + (y-b_1)^2} &= \alpha \left(\frac{V_{31}}{V'_{31}} - 1 \right) R_g \end{aligned} \right\} \dots\dots (式4-12)$$

10

【0124】

式(4-12)には、信号源Vsとグランド電極20との間の内部抵抗Rb0が式の中に入っていない。また、式(4-12)で表される3つの連立方程式の未知数は、信号源Vsの二次元座標(x、y)と、定数の3つになる。従って、式(4-12)で表される3つの連立方程式を解くことによって、信号源Vsの二次元座標(x、y)と、定数を求めることができる。

【0125】

上記の方法によれば、信号源Vsの二次元座標(x、y)を求める際に、2つの定数、すなわち、内部抵抗Rbiと距離Li(i=1、2、3)との比例定数、及び、信号源Vsとグランド電極20との間の内部抵抗Rb0を、予め求めておく必要がなく、簡便に、生体内の信号源Vsの二次元座標を求めることができる。

20

【0126】

(生体内信号強度検出装置)

図11は、本発明の他の実施形態における生体内信号強度検出装置の構成を示すブロック図で、生体表面に配置される電極に生じる電圧によって、生体内の信号源の信号強度を検出する装置である。なお、本実施形態で対象とする生体内の信号源は、複数の筋繊維からなる線状の信号源である。

30

【0127】

図11に示すように、本実施形態における生体内信号強度検出装置100は、少なくとも2つの電極が連結された電極ユニット110を備え、かかる電極ユニット110は、図2に示したように、複数の筋繊維(線状の信号源)40を囲むように、生体10の表面の円周10A上に配置される。

【0128】

生体内信号強度検出装置100は、さらに、信号源Vsの位置情報(x、y)を検出する手段120と、各電極とグランド電位との間、又は、各電極間に生じる電圧Vi(i=1、2)を測定する手段130と、信号源Vsと各電極との距離ri(i=1、2)を算出する手段140と、信号源Vsの信号強度を検出する手段150とを備えている。

40

【0129】

信号強度検出手段150では、電圧測定手段130で測定された電圧Vi(i=1、2)、距離算出手段140で算出された距離ri(i=1、2)、及び式(1-1)で示した生体内における信号源の減衰式に基づいて、信号源Vsの信号強度を検出する。

【0130】

ここで、信号強度の検出は、上記の第1の実施形態または第2の実施形態において説明した生体内信号強度検出方法を用いて検出することができる。

【0131】

以上、本発明を好適な実施形態により説明してきたが、こうした記述は限定事項ではなく、もちろん、種々の改変が可能である。例えば、上記実施形態では、体内における信号源

50

の減衰式に、式(1-1)を用いたが、必ずしもこれに限定されない。

【0132】

また、上記実施形態では、信号源の信号強度の検出を、複数の信号源を囲むように、少なくとも2つ以上の電極を配置して行ったが、さらに一つ以上の電極を配置して、信号源の位置検出を行ってもよい。

【0133】

また、上記実施形態では、信号源 V_s の位置情報(x 、 y)の検出を、図4~図7、若しくは、図8~図10を参照しながら説明した方法、すなわち、複数の信号源を囲むように、少なくとも3つ以上の電極を配置し、各電極とグランド電位との間に、抵抗値の異なる2つの外部抵抗を並列に接続して、それぞれの外部抵抗に並列接続したときに各電極に生じる電圧 V_k ($k=1, 2, 3$)及び電圧 V'_k ($k=1, 2, 3$)を測定し、電圧比 V_k/V'_k ($k=1, 2, 3$)に基づいて行う方法を説明したが、必ずしもこれに限定されない。例えば、生体表面に多数の電極を格子状に配置し、各電極で測定した表面電位と、MRI (Magnetic Resonance Imaging: 磁気共鳴画像) や、CT (Computed Tomography: コンピュータ断層撮影) 等で得られた生体の画像データに基づいて、体内の電位分布を解析することによって、生体内の信号源の位置情報を求める方法を用いてもよい。

10

【符号の説明】

【0134】

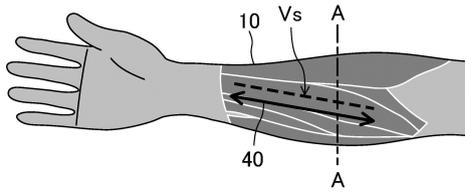
10	生体	
10A	円周	20
20	グランド電極	
21	第1の電極(チャンネル ch_1)	
22	第2の電極(チャンネル ch_2)	
23	第3の電極(チャンネル ch_3)	
30	差動アンプ	
40	筋繊維	
100	生体内信号強度検出装置	
110	電極ユニット	
120	位置情報検出手段	
130	電圧測定手段	30
140	距離算出手段	
150	信号強度検出手段	

40

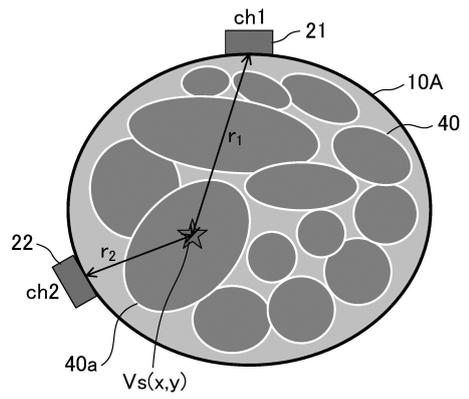
50

【図面】

【図 1】

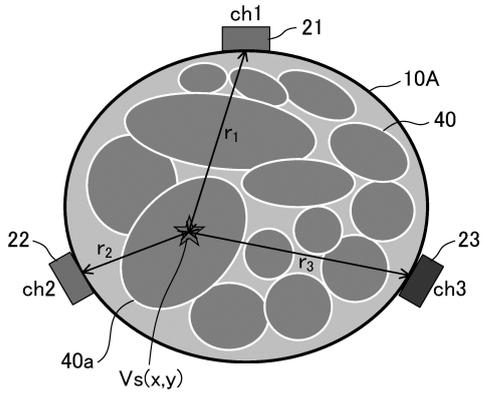


【図 2】

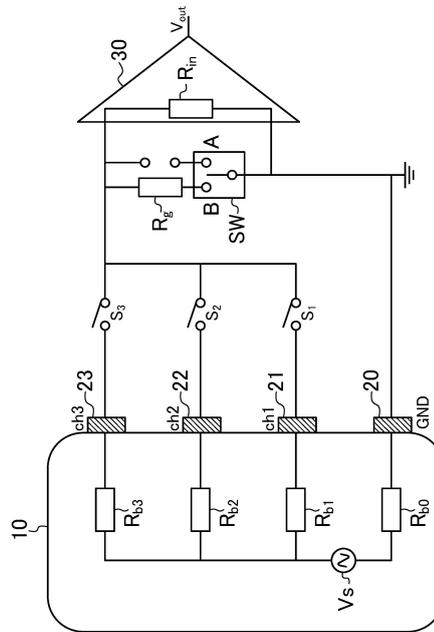


10

【図 3】



【図 4】



20

30

40

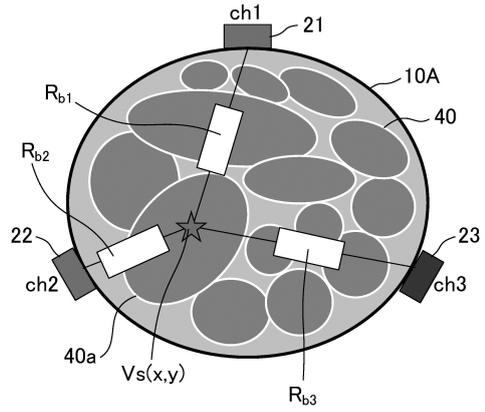
50

【 図 5 】

ステップ	電極	切替SW	S ₁	S ₂	S ₃	出力
1	ch1	A	C	O	O	V ₁
2	ch2	A	O	C	O	V ₂
3	ch3	A	O	O	C	V ₃
4	ch1	B	C	O	O	V' ₁
5	ch2	B	O	C	O	V' ₂
6	ch3	B	O	O	C	V' ₃

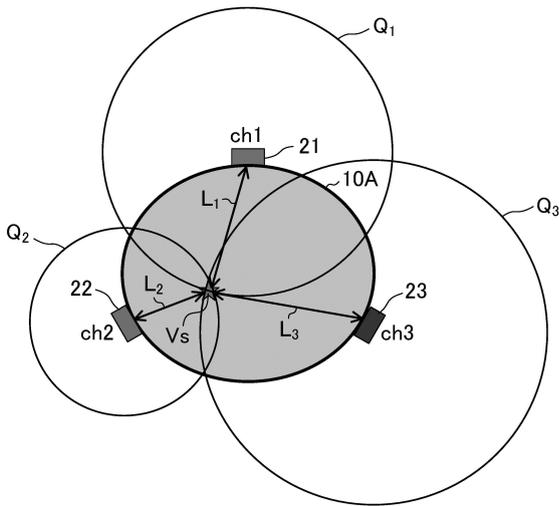
C:close(導通)
O:open(開放)

【 図 6 】

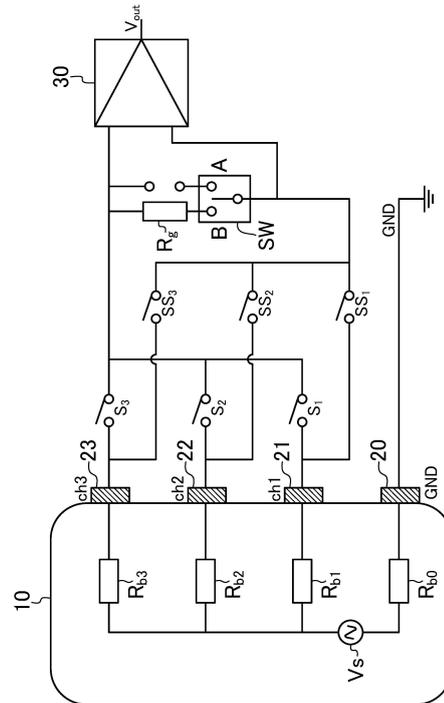


10

【 図 7 】



【 図 8 】



20

30

40

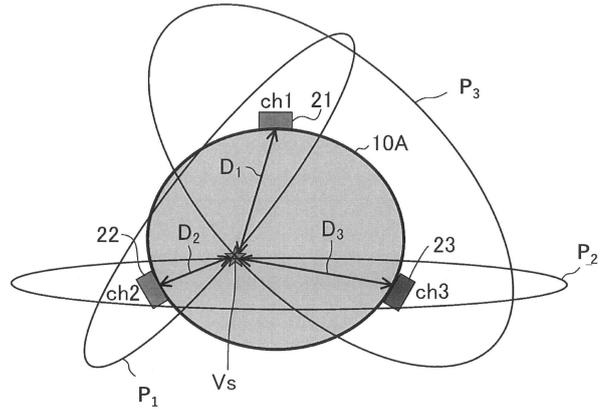
50

【 図 9 】

ステップ	電極	切替SW	S ₁	S ₂	S ₃	S _{S1}	S _{S2}	S _{S3}	出力
1	ch1とch2	A	C	O	O	O	C	O	V ₁₂
2	ch2とch3	A	O	C	O	O	O	C	V ₂₃
3	ch3とch1	A	O	O	C	C	O	O	V ₃₁
4	ch1とch2	B	C	O	O	O	C	O	V' ₁₂
5	ch2とch3	B	O	C	O	O	O	C	V' ₂₃
6	ch3とch1	B	O	O	C	C	O	O	V' ₃₁

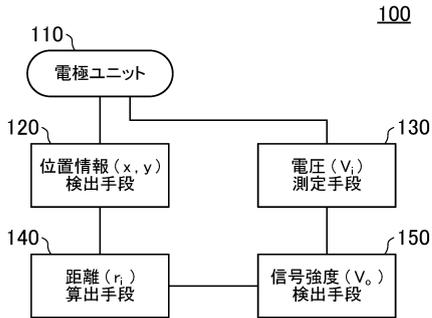
C:close(導通)
O:open(開放)

【 図 1 0 】



10

【 図 1 1 】



20

30

40

50

フロントページの続き

館大学 びわこ・くさつキャンパス 理工学部内

(72)発明者 坂上 友介

滋賀県草津市野路東1丁目1-1 立命館大学 びわこ・くさつキャンパス スポーツ健康科学部内

審査官 藤原 伸二

(56)参考文献 国際公開第2016/075726(WO, A1)

特開2007-268034(JP, A)

国際公開第2010/097894(WO, A1)

特開2016-159090(JP, A)

特開昭59-200632(JP, A)

特開2011-030991(JP, A)

特開2013-121369(JP, A)

米国特許出願公開第2015/0165269(US, A1)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

A61B 5/389

A61B 5/05

A61B 5/053 - 5/0538

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamIII)

PubMed

Google