

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5385555号  
(P5385555)

(45) 発行日 平成26年1月8日(2014.1.8)

(24) 登録日 平成25年10月11日(2013.10.11)

(51) Int.Cl. F I  
**A 6 1 B 5/11 (2006.01)** A 6 1 B 5/10 3 1 0 G

請求項の数 20 (全 27 頁)

(21) 出願番号	特願2008-161048 (P2008-161048)	(73) 特許権者	509189444
(22) 出願日	平成20年6月19日 (2008. 6. 19)		日立コンシューマエレクトロニクス株式会社
(65) 公開番号	特開2009-136667 (P2009-136667A)		社
(43) 公開日	平成21年6月25日 (2009. 6. 25)		東京都千代田区大手町二丁目2番1号
審査請求日	平成23年5月23日 (2011. 5. 23)	(74) 代理人	100064414
(31) 優先権主張番号	特願2007-295935 (P2007-295935)		弁理士 磯野 道造
(32) 優先日	平成19年11月14日 (2007. 11. 14)	(72) 発明者	神鳥 明彦
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株 式会社日立製作所 基礎研究所内
		(72) 発明者	宮下 豪
			埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株 式会社日立製作所 基礎研究所内
		(72) 発明者	佐野 佑子
			埼玉県比企郡鳩山町赤沼2520番地 株 式会社日立製作所 基礎研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 生体検査システム、生体検査装置および生体検査方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置と、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置と、を備えた生体検査システムであって、

前記生体検査装置は、

記憶部と、処理部と、を有し、

前記処理部は、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、前記速度および前記加速度を取得または計算し、

前記取得または計算した前記速度および前記加速度を用いて、前記二指の伸展力に関する前記評価指標、および/または、前記二指の開閉力に関する前記評価指標を算出し、

前記算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする生体検査システム。

【請求項2】

前記評価指標は、前記速度と前記加速度との比を用いた筋力学モデルに基づく所定の計算式で算出される、前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスとであり、

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらに前記二指の質量で除算して規格化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の生体検査システム。

【請求項 3】

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらにそれぞれの平均値および標準偏差によって正規化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の生体検査システム。

【請求項 4】

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスを機械抵抗として算出し、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスをコンプライアンスまたはバネ定数として算出する

ことを特徴とする請求項 2 に記載の生体検査システム。

【請求項 5】

前記所定の計算式は、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、を加算して 2 で除算した値を前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、

および、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値から、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値を、減算して 2 で除算した値を前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、である

ことを特徴とする請求項 2 に記載の生体検査システム。

【請求項 6】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置であって、

記憶部と、処理部と、を有し、

前記処理部は、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、前記速度および前記加速度を取得または計算し、

前記取得または計算した前記速度および前記加速度を用いて、前記二指の伸展力に関する前記評価指標、および / または、前記二指の開閉力に関する前記評価指標を算出し、

前記算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする生体検査装置。

【請求項 7】

前記評価指標は、前記速度と前記加速度との比を用いた筋力学モデルに基づく所定の計算式で算出される、前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスとであり、

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらに前記二指の質量で除算して規格化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 6 に記載の生体検査装置。

【請求項 8】

前記処理部は、

10

20

30

40

50

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらにそれぞれの平均値および標準偏差によって正規化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の生体検査装置。

【請求項 9】

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスを機械抵抗として算出し、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスをコンプライアンスまたはバネ定数として算出する

ことを特徴とする請求項 7 に記載の生体検査装置。

【請求項 10】

前記所定の計算式は、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、を加算して 2 で除算した値を前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、

および、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値から、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値を、減算して 2 で除算した値を前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、である

ことを特徴とする請求項 7 に記載の生体検査装置。

【請求項 11】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置による生体検査方法であって、

前記生体検査装置は、記憶部と、処理部と、を有し、

前記処理部は、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、前記速度および前記加速度を取得または計算し、

前記取得または計算した前記速度および前記加速度を用いて、前記二指の伸展力に関する前記評価指標、および / または、前記二指の開閉力に関する前記評価指標を算出し、

前記算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする生体検査方法。

【請求項 12】

前記評価指標は、前記速度と前記加速度との比を用いた筋力学モデルに基づく所定の計算式で算出される、前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスとであり、

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらに前記二指の質量で除算して規格化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 11 に記載の生体検査方法。

【請求項 13】

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、をさらにそれぞれの平均値および標準偏差によって正規化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 12 に記載の生体検査方法。

【請求項 14】

前記処理部は、

前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスを機械抵抗として算出し、前記二指の開

10

20

30

40

50

閉力に関する機械インピーダンスをコンプライアンスまたはバネ定数として算出することを特徴とする請求項 1 2 に記載の生体検査方法。

【請求項 1 5】

前記所定の計算式は、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値と、を加算して 2 で除算した値を前記二指の伸展力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、

および、

前記二指の開動作に関する前記速度 / 前記加速度の値から、前記二指の閉動作に関する前記速度 / 前記加速度の値を、減算して 2 で除算した値を前記二指の開閉力に関する機械インピーダンスの値として算出する式、である

ことを特徴とする請求項 1 2 に記載の生体検査方法。

【請求項 1 6】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置と、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置と、を備えた生体検査システムであって、

前記生体検査装置は、

記憶部と、処理部と、を有し、

前記処理部は、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、

前記二指を開ききった開放状態近傍において、

当該開放状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

当該開放状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記開放状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する開放状態近傍での処理と、

前記二指を閉じきった接触状態近傍において、

当該接触状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

当該接触状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記接触状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する接触状態近傍での処理と、

の少なくとも一方の処理を行い、当該処理により算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする生体検査システム。

【請求項 1 7】

前記評価指標は、

前記開放状態近傍での開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記開放状態近傍での閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いた開放状態近傍用の開運動と閉運動それぞれの計算式により算出される、開放状態近傍における前記二指の開運動に関する機械インピーダンス、および、開放状態近傍における前記二指の閉運動に関する機械インピーダンスであるとともに、

前記接触状態近傍での開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記接触状態近傍での閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いた接触状態近傍用の開運動と閉運動それぞれの計算式により算出される、接触状態近傍における前記二指の開運動に関する機械インピーダンス、および、接触状態近傍における前記二指の閉運動に関する機械インピーダンスであり、

前記処理部は、

前記二指の開運動に関する機械インピーダンスと、前記二指の閉運動に関する機械インピーダンスと、をさらに前記二指の質量で除算して規格化した値に変換して前記評価指標として算出し、前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする請求項 16 に記載の生体検査システム。

10

【請求項 18】

前記処理部は、

前記二指の開運動に関する機械インピーダンスと、前記二指の閉運動に関する機械インピーダンスと、をさらにそれぞれの平均値および標準偏差によって正規化した値に変換して前記評価指標として算出する

ことを特徴とする請求項 17 に記載の生体検査システム。

【請求項 19】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置であって、

20

記憶部と、処理部と、を有し、

前記処理部は、

前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、

前記二指を開ききった開放状態近傍において、

当該開放状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

当該開放状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記開放状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する開放状態近傍での処理と、

30

前記二指を閉じきった接触状態近傍において、

当該接触状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

当該接触状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、

前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記接触状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する接触状態近傍での処理と、

40

の少なくとも一方の処理を行い、当該処理により算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

ことを特徴とする生体検査装置。

【請求項 20】

被験者の片手の二指の開閉動作であるタッピングにおける、前記二指の間の距離、前記二指の速度、前記二指の加速度のいずれかに関する情報である運動情報を検出するタッピング検出装置から得られた運動情報に基づいて、前記被験者の指運動に関する評価指標を算出する生体検査装置による生体検査方法であって、

50

前記生体検査装置は、記憶部と、処理部と、を有し、  
 前記処理部は、  
 前記タッピング検出装置から得られた運動情報に基づき、  
 前記二指を開ききった開放状態近傍において、  
 当該開放状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、  
 当該開放状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、  
 前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記開放状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する開放状態近傍での処理と、  
 前記二指を閉じきった接触状態近傍において、  
 当該接触状態近傍での前記二指の開運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、  
 当該接触状態近傍での前記二指の閉運動に関する前記速度の極大値および前記加速度の極大値を、取得または計算し、  
 前記取得または計算した速度および加速度の極大値のそれぞれについて、前記開運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比と、前記閉運動に関する速度の極大値および加速度の極大値の比とを用いて、前記接触状態近傍における前記二指の運動に関する前記評価指標を算出する接触状態近傍での処理と、  
 の少なくとも一方の処理を行い、当該処理により算出した評価指標を前記記憶部に記憶する

10

20

ことを特徴とする生体検査方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、脳神経疾患等の検査技術に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、我が国では、パーキンソン病や脳卒中等の脳神経疾患の患者が急増している。例えば、パーキンソン病は、振戦（ふるえ）、筋強剛（筋肉の緊張が高まっている状態のひとつ）、姿勢反射障害（姿勢の立て直し不良）、寡動（動作の鈍化）の4つを主要徴候とする脳神経疾患である。これらの脳神経疾患の患者の急増は、医療費の増大だけでなく、それらの患者が就労不能であることによる大きな社会的損失も招くことになる。したがって、このような脳神経疾患による社会的問題を解決するには、被験者が脳神経疾患か否か、また、脳神経疾患である場合はその度合いを、ある程度以上の精度で判定することが必要となる。

30

【0003】

しかし、被験者が脳神経疾患か否かやその度合いは、血液検査やMRI (Magnetic Resonance Imaging) の画像所見等で判定することが難しい。健常者の場合との差異が必ずしも明確ではないからである。したがって、被験者が脳神経疾患か否かやその度合いは、検査者である医師の経験や能力によって主観的に判断されることも少なくない。そういった背景の中で、例えば、パーキンソン病による運動機能低下や調律異常を評価するために、手の指の運動をモニタする指運動テストが行なわれるようになってきた。

40

【0004】

この指運動をモニタする方法として、例えば、電気スイッチ、金属ループ、キーボード、3次元カメラ等を使用した方法が考案されている。しかし、これらの方法は簡易な方法とは言えず、十分普及していない。

そこで、本出願人は、磁気を発生するコイルを用いて、生体の部位の動きを検出するこ

50

とが可能な生体検査装置を提案している（特許文献1参照）。特許文献1の技術によれば、指運動の動きから得た波形を解析することで、脳神経疾患患者か健常者かを高精度で判定することができる。

【特許文献1】特許第3841075号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、特許文献1の技術では、被験者の指運動を力学的に解析しているわけではないので、被験者の指運動に使用される筋肉の硬さ等に関する適切な評価指標を求めているとは言えないという問題があった。

10

そこで、本発明は、前記問題に鑑みてなされたものであり、被験者の指運動を力学的に解析し、被験者の指運動に使用される筋肉の硬さ等に関する適切な評価指標を求めることを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0006】

本発明によれば、生体検査装置の処理部は、タッピング検出装置から得られた二指の運動情報に基づき、二指の速度および加速度を取得または計算し、その速度および加速度の比を算出し、算出した比を筋力学モデルに基づく所定の計算式に適用して、二指の伸展力に関する機械インピーダンスと、二指の開閉力に関する機械インピーダンスと、を評価指標として算出する。その他の手段については後記する。

20

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、被験者の指運動を力学的に解析し、被験者の指運動に使用される筋肉の硬さ等に関する適切な評価指標を求めることができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0008】

以下、本発明を実施するための最良の形態（以下、「実施形態」という。）について、図面を参照（言及図以外の図も適宜参照）しながら詳細に説明する。

【0009】

[第1の実施形態]

30

以下、まず、本発明の第1の実施形態について説明する。

<<構成>>

図1は、第1の実施形態の生体検査システムの全体構成図である。第1の実施形態の動作の流れに沿って、各構成について詳細に説明する。

【0010】

まず、交流発生回路109によって特定の周波数（例えば、20kHz等）を持つ交流電圧が生成される。交流発生回路109によって生成された特定の周波数を持つ交流電圧は、電流発生用アンプ回路110によって特定の周波数を持つ交流電流に変換される。そして、電流発生用アンプ回路110によって変換して生成された交流電流が、発信用コイル102に流れる。発信用コイル102を流れる電流によって発生した磁場は、近傍の受信コイル101に誘起起電力を発生させる。なお、例えば、発信用コイル102は被験者の片手の親指に取り付けられ、受信コイル101は被験者の同じ手の人差し指に取り付けられるが、その様子の詳細については図2の説明で後記する。

40

【0011】

受信コイル101に発生した誘起起電力（周波数が交流発生回路109によって生成された交流電圧の周波数と同じ）は、プリアンプ回路103によって増幅され、増幅後の信号は検波回路104に入力される。検波回路104では、交流発生回路109によって生成された特定の周波数又は2倍周波数によって検波を行なう。そのため、位相調整回路111は、交流発生回路109からの出力の位相を調整した後、参照信号112を検波回路104の参照信号入力端子に入力する。

50

## 【 0 0 1 2 】

また、特定周波数の2倍周波数で検波する場合は、位相調整回路111は必ずしも必要ではない。2倍周波数で検波する簡単な回路構成としては、例えば、交流発生回路109の特定周波数を2倍の周波数としておき、分周期によって半分の周波数に変換した後に、電流発生用アンプ回路110に入力する構成とし、特定周波数の2倍の周波数の信号を参照信号112として検波回路104の参照信号入力端子に入力するようにすればよい。

## 【 0 0 1 3 】

検波回路104からの出力信号は、LPF (Low-Pass Filter) 回路105を通過した後、所望の電圧を得るためにアンプ回路106によって増幅されて、出力信号107として生体検査装置108に導入される。出力信号107は、親指と人差し指にそれぞれ装着された発信用コイル102と受信用コイル101との距離Dに対応する電圧を有する。なお、前記した構成のうち、出力信号107と参照信号112以外は、特許請求の範囲における「タッピング検出装置」の一部に相当する。

10

## 【 0 0 1 4 】

生体検査装置108は、出力信号107の記録や解析等を行うコンピュータ装置であり、処理部121、記憶部122、情報入力部123、表示部124および信号入力部125を備えて構成される。

処理部121は、出力信号107に基づいて、被験者の指運動を力学的に解析し、その解析結果等を表示部124に表示等させるものであり、例えば、CPU (Central Processing Unit) によって実現される。

20

## 【 0 0 1 5 】

記憶部122は、各種プログラム、データ、解析結果等を記憶するための記憶装置または一時記憶装置であり、例えば、ROM (Read Only Memory)、RAM (Random Access Memory)、ハードディスク等から構成される。処理部121は、記憶部122に記憶されたプログラムやデータ等を記憶部122に展開することにより各種動作を実行し、また、データ、解析結果等を記憶部122に記憶させることができる。

## 【 0 0 1 6 】

情報入力部123は、生体検査装置108の操作者が、被験者に関する情報を入力するためのものであって、例えば、キーボードやマウス等から構成される。また、情報入力部123は、GUI (Graphical User Interface) の機能を備えていてもよい。

30

表示部124は、処理部121によって生成されたデータや解析結果等を表示するものであって、例えば、LCD (Liquid Crystal Display) やCRT (Cathode Ray Tube) ディスプレイ等から構成される。

信号入力部125は、アンプ回路106からの出力信号107の入力を受け付けるインタフェースである。

## 【 0 0 1 7 】

図2は、第1の実施形態において、発信用コイル102と受信用コイル101とを被験者の片手（ここでは左手）に装着した様子を示す説明図である。

図2に示すように、電流発生用アンプ回路110と接続された発信用コイル102がコイル装着部材22に巻き付けられ、そのコイル装着部材22と接着しているバンド部24が親指Tに取り付けられることで、コイル装着部材22と発信用コイル102とが親指Tに対して固定されている。

40

## 【 0 0 1 8 】

同様に、プリアンプ回路103と接続された受信用コイル101がコイル装着部材21に巻き付けられ、そのコイル装着部材21と接着しているバンド部23が人差し指Fに取り付けられることで、コイル装着部材21と受信用コイル101とが人差し指Fに対して固定されている。

なお、バンド部23、24は、ゴムやスポンジ等から構成され、指の大きさ（太さ）の個人差を吸収できるものが好ましい。

## 【 0 0 1 9 】

50



このような構成により、また、予め親指 T と人差し指 F の間の距離 D と出力信号 107 の電圧との関係を生体検査装置 108 の記憶部 122 に記憶させておくことで、出力信号 107 の電圧から距離 D を特定することができる。なお、発信用コイル 102 と受信用コイル 101 とを固定する指は、親指 T や人差し指 F に限定されるものではなく、任意の指であってよい。

#### 【0020】

図3は、被験者のタッピング（二指（親指 T と残りのいずれかの一指）の開閉動作）により得られる情報の例であり、（a）が時間と二指（親指 T と人差し指 F）の距離の関係図、（b）が時間と二指の相対速度（速度）の関係図、（c）が時間と二指の相対加速度（加速度）の関係図である。なお、以下において、「極大値」と「極小値」を合わせて「極大値」と表現する。このため、本明細書では、「極小値」という用語は用いていない。ちなみに、「関数の局所的な（つまりある点の近傍における）最大値または最小値」のことを、それぞれ「極大値、極小値」といい、これらを併せて「極値」と総称されている。本実施形態では、時系列的に得られるデータの所定の区間における最大値が極大値（最小値が極小値）である。

10

#### 【0021】

図3（a）に示すように、波形31（距離波形）は、二指の距離 D（mm）の時間変化を表し、図中に白丸（○）で示した部分（波形の谷の部分）は距離 D が「0」、つまり、二指がくっついた瞬間を表している。この波形31は、生体検査装置 108 の処理部 121 が、出力信号 107 の電圧値を距離に変換することによって、生成される。

20

#### 【0022】

図3（b）に示すように、波形32（速度波形）は、二指の相対速度（m/s）の時間変化を表し、図中に十字（+）で示した部分は二指が開くとき（オープニング）の速度のプラスのピーク（極大値）時を表し、図中に白丸（○）で示した部分は二指が閉じるとき（クロージング）の速度のマイナスのピーク（極大値）時を表している。つまり、速度は、オープニングの方向を正の向きとし、加速度についても同様である。この波形32は、生体検査装置 108 の処理部 121 が、二指の距離 D の波形31を時間微分することによって、生成される。ちなみに、二指がくっついた瞬間は速度が 0 m/s になる。同様に、二指が開ききった瞬間も速度が 0 m/s になる。

30

#### 【0023】

図3（c）に示すように、波形33（加速度波形）は、二指の相対加速度（m/s<sup>2</sup>）の時間変化を表し、図中に十字（+）で示した部分はオープニングの加速度のプラスのピーク時を表し、図中に白丸（○）で示した部分はクロージングの加速度のマイナスのピーク時を表している。この波形33は、生体検査装置 108 の処理部 121 が、波形32を時間微分することによって、生成される。

#### 【0024】

以下、これらの距離波形、速度波形および加速度波形を総称して「運動波形」という。なお、発信用コイル 102 および受信用コイル 101 の代わりにストレインゲージや加速度計等を適用した場合であっても、少なくとも1つの運動波形が測定されれば、微積分演算することによって補完的に他の運動波形を求めることができる。また、運動波形の生成の詳細については、特許文献1に詳述されているので、ここではこれ以上の詳細な説明を省略する。

40

#### 【0025】

<<運動力学的な解析モデル>>

次に、第1の実施形態の運動力学的な解析モデルについて説明する。なお、以下において、機械インピーダンスとは、物体（ここでは指）の動きにくさを示す量であり、物体の質量、物体が動作するときの機械抵抗（摩擦等）、バネ定数（ここでは腱がバネに相当）等に依存して決定する量である。電気回路におけるインピーダンスに相当することから、その名が付けられている。

#### 【0026】

50

機械インピーダンスを考慮した指の運動力学の公式と、慣性の法則を利用し、以下の簡単な2式(式(1)、式(2))を考える。

【数1】

$$F = ZV \quad \dots (1)$$

$$F = MA \quad \dots (2)$$

【0027】

ここで、 $F$  ( $N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ )は指に働く力、 $Z$  ( $\text{kg} / \text{s}$ )は指の機械インピーダンス、 $M$  ( $\text{kg}$ )は指の質量、 $A$  ( $\text{m} / \text{s}^2$ )は指の加速度、 $V$  ( $\text{m} / \text{s}$ )は指の速度である。

10

【0028】

この式(1)、(2)を連立することで、以下の式(3)を導くことができる。

【数2】

$$\frac{Z}{M} = \frac{A}{V} \quad \dots (3)$$

【0029】

式(3)を見れば、 $A/V$ の値を用いれば、指の質量で規格化した機械インピーダンス( $Z/M$ )を評価できることが分かる。この規格化をすることにより、指の大きさ等の個人差を吸収できるものと考えられる。第1の実施形態では、 $A/V$ の値を用いてモデル解析を行っていく。つまり、 $A/V$ の値を求めることで、 $Z/M$ の値を間接的に求めることができるので、機械インピーダンス( $Z$ )や指の質量( $M$ )を直接、計測または算出しなくても、 $Z/M$ の値を得ることができる。

20

【0030】

$A/V$ の値を評価するために、タッピングのオープニング時の速度と加速度の極大値(以下、極大速度、極大加速度という。)、および、クロージング時の極大速度と極大加速度を、全てのタッピング周期で図3(b)、(c)のように抽出する。そして、抽出した各極大速度と各極大加速度の平均値を計算する。ここで、オープニングの平均極大速度を $V_o$ 、オープニングの平均極大加速度を $A_o$ 、クロージングの平均極大速度を $V_c$ 、クロー

30

【0031】

(測定方法)

ここで、解析モデルに関する理解を助けるために、測定方法とその解析結果の一例について説明する。

指運動を測定する場合、被験者は、図2のように、発信用コイル102を親指Tに装着し、受信用コイル101を人差し指Fに装着し、その状態でタッピングを行い、そのときの両コイル間の距離を計測する。なお、バンド部23、24の代わりに、医療用両面テープ等を使用して、発信用コイル102を親指Tの爪に装着し、受信用コイル101を人差し指Fの爪に装着するようにしてもよい。また、発信用コイル102と受信用コイル101の配置はどちらが親指Tあるいは人差し指Fであってもよく、取り付け位置も爪の位置に限ることはない。

40

【0032】

そして、発信用コイル102から20kHzの磁場を発生させ、受信用コイル101に誘起された起電力を検出する。次に、検出された起電力を、20kHzでロックイン検波(20kHz(付近)の成分のみ検出)することによって得られる出力を距離換算して指の間の距離を計測する。これらの動作の詳細は、図1の説明で前記した通りである。

【0033】

被験者は、リラックスした座位の状態で行う。検査の種類としては、メトロノームを使用して1、2、3、4、5Hz等のタイミングに合わせてタッピングを行う

50

周期検査と、できるだけ速く大きくタッピングを行う非周期検査（周波数は2～5 Hz程度になる）とがある。

【0034】

図4は、周期検査で測定された指の動きの解析結果（3人の平均）を示す図であり、（a）が右手の解析結果、（b）が左手の解析結果である。図4（a）、（b）に示すように、右手（3人とも利き手）も左手もオープニング（Open）のA/Vの値（符号401，411）が全周波数で比較的大きい。また、周波数が大きくなると、クロージング（Close）のA/Vの値（符号404，414）が大きくなり、一方、オープニングのA/V（符号401，411）の値が下がってくる傾向がある。

【0035】

また、これらの傾向から、クロージングとオープニングのA/Vの値を足して2で割った値 $[(O+C)/2]$ （符号402，412）は周波数にあまり依存せず一定の値になっていることが分かる。これとは逆に、オープニングからクロージングのA/Vの値を引き算して2で割った値 $[(O-C)/2]$ （符号403，413）は、周波数の増加と共にA/Vの値が減少していく様子が分かる。これらの傾向は右手と左手で両方に共通して認められる。

【0036】

<タッピングの筋力学モデル（解析モデル）>

図4のA/Vの値と周波数との関係も引用しながら、タッピングの筋力学モデルについて説明する。

まず、指先に質量Mがあり、速度V・加速度Aで開閉していると考ええる。そして、この質量Mの動作は、伸展力（F<sub>t</sub>）に影響する機械インピーダンスZ<sub>t</sub>と、開閉の力（F<sub>m</sub>）に影響する機械インピーダンスZ<sub>m</sub>とのバランスで成り立っていると考ええる。ここで、力F<sub>t</sub>は常に指の閉まる（指同士が近づく）方向に指先の質量Mを押していると考ええる。このようなモデルの場合、Z<sub>t</sub>は主に伸筋腱（指の腱の一つ）を、Z<sub>m</sub>は主に虫様筋（指の筋肉の一つ）に基づいて決定する機械インピーダンスであると考えられる。

【0037】

これらを模式的に図示したのが図5である。図5は、タッピングの筋力学モデルを示す模式図である。力F<sub>t</sub>は常に指の閉まる方向に指先の質量Mを押していると考えるので、指を閉じる筋力（F<sub>m</sub>）よりも、指を開く筋力（-F<sub>m</sub>）のほうが、大きい力が必要となる。

【0038】

指が開く方向に動く時には、以下の式（4a）が成り立ち、式（1）を使って変形すると式（4b）となり、さらに式変形すると式（4）となる。

【数3】

$$-F_m + F_t = -MA_o \quad \dots (4a)$$

$$(Z_m - Z_t)V_o = MA_o \quad \dots (4b)$$

$$\frac{(Z_m - Z_t)}{M} = \frac{A_o}{V_o} \quad \dots (4)$$

【0039】

また、指が閉じる方向に動く時には、以下の式（5a）が成り立ち、式（1）を使って変形すると式（5b）となり、さらに式変形すると式（5）となる。

10

20

30

40

【数4】

$$F_m + F_t = MA_c \quad \dots (5a)$$

$$(Z_m + Z_t)V_c = MA_c \quad \dots (5b)$$

$$\frac{(Z_m + Z_t)}{M} = \frac{A_c}{V_c} \quad \dots (5)$$

10

【0040】

そして、式(4)、(5)を連立して計算すると、次の式(6)(所定の計算式)、(7)(所定の計算式)を得ることができる。

【数5】

$$\frac{Z_m}{M} = \left( \frac{A_o}{V_o} + \frac{A_c}{V_c} \right) / 2 \quad \dots (6)$$

$$\frac{Z_t}{M} = \left( \frac{A_o}{V_o} - \frac{A_c}{V_c} \right) / 2 \quad \dots (7)$$

20

【0041】

式(6)、(7)を用いれば、 $A_o$ 、 $A_c$ 、 $V_o$ および $V_c$ の値から、 $Z_m/M$ と $Z_t/M$ の値を求める(推定する)ことができる。

【0042】

式(6)、(7)を用いて $Z_m/M$ と $Z_t/M$ の値を計算すると、図6に示すような結果が得られる。図6は、周波数ごとの $Z_m/M$ と $Z_t/M$ の値を示す図である。

図6に示すように、 $Z_m/M$ (符号61, 62)については周波数依存が小さく、一定値に近いことが分かる。一方、 $Z_t/M$ (符号63, 64)については、周波数の増加と共に急激に減少していくことが分かる。

30

【0043】

図6で示した計算結果から、 $Z_m$ は主に機械抵抗( $R_m$ )が支配的であると考えられ、 $Z_t$ は主にコンプライアンス( $C_t$ (外力印加時の弾力性やたわみ強度):  $1/C_t$ が(腱の)パネ定数 $K_t$ となる)による周波数特性を反映していると考えられる。このような考えを基に、 $Z_m$ と $Z_t$ の等価回路図を考えると、図7のようになる。なお、以下において、各パラメータを質量で規格化する場合は、各パラメータを $M$ で割って考えればよい。

【0044】

図7において、(a)は $Z_m$ に関する等価回路図であり、(b)は $Z_t$ に関する等価回路図である。(b)の $Z_t$ に関しては、周波数と共に減少する特性と1Hzから2Hzの間ではややフラットの特性を持っていることから、 $C_t$ と $R_t$ の並列接続(図7(b)の(b2))も考えられるため、並列接続のモデルも検討を行う。

40

図7(a)に示すように、 $Z_m$ は、次の式(8)で表される。

【数6】

$$Z_m = R_m \quad \dots (8)$$

【0045】

また、 $Z_t$ を $C_t$ のみで近似すると(図7(b)の(b1))、式(9)となり、その

50

とき、 $Z_t$ の大きさは式(10)で表される。なお、 $j$ は虚数単位、 $\omega$ は角周波数である。

【数7】

$$Z_t = \frac{1}{j\omega C_t} \quad \dots (9)$$

$$|Z_t| = \left| \frac{1}{\omega C_t} \right| \quad \dots (10)$$

10

【0046】

$Z_t$ を $C_t$ と $R_t$ の並列接続で近似(図7(b)の(b2))する場合は、計算を簡単にするため、 $Z_t$ の逆数であるアドミタンス( $Y_t = 1/Z_t$ )で計算を行うと、 $Y_t$ とその大きさは式(11)、(12)の通りとなる。

【数8】

$$Y_t = \frac{1}{R_t} + j\omega C_t \quad \dots (11)$$

$$|Y_t| = \sqrt{\frac{1}{R_t^2} + \omega^2 C_t^2} \quad \dots (12)$$

20

【0047】

式(8)、(10)、(12)による計算および規格化によって得られる $R_m/M$ 、 $K_t/M (= 1/C_t M)$ を図8に示す。図8(a)に示すように、 $R_m/M$ は右手も左手も周波数と共に少し減少傾向はあるものの、ほぼ一定値であり、値が「70」から「80」の間くらいにあることが分かる。

【0048】

$K_t/M$ に関しては、 $C_t$ のみでの計算(図7(b)の(b1))では、フラットな特性に近い1Hz近傍では「400」以下と小さい値であるが、2Hz以降では「500」から「1000」の値であり、比較的安定した値が得られることが分かる(図8(b))。

30

【0049】

一方、並列接続の計算(図7(b)の(b2))では、フラットな特性である1Hzの $Z_t/M$ の値がそのまま $R_t/M$ の値であると仮定して $1/C_t M$ を計算している。計算された $1/C_t M$ の値は、周波数の増加と共に大きく減少していく様子が認められる(図8(c))。

【0050】

また、ここでは、上記のように簡易に計算を行ったが、 $R_t$ と $C_t$ の値を計算する方法としては測定された2点(例えば1Hzと3Hzの値)を用いて計算することもできる。しかしながら、実際のデータに適應して計算したところ、モデルと実測値との不適合により、解を求めることができなかった。以上のことから、 $Z_t$ は2Hz以上において $C_t$ のみの近似で考えることが最も妥当であると考えられる。

40

【0051】

<まとめ>

タッピングの筋力学モデルとして、二指の伸展力に関する機械インピーダンス $Z_m$ を主に虫様筋等の指の開閉を司る筋肉等の機械抵抗 $R_m$ として仮定し、二指の開閉力に関する機械インピーダンス $Z_t$ を主に伸筋腱等に代表されるバネ的役割を果たすコンプライアン

50

ス  $C_m (1 / K_t)$  )として仮定することが、タッピングの筋力学モデルに適していると考えられる。

【 0 0 5 2 】

このように推定された結果から、 $R_m / M$ は「70」から「80」の間くらいに、 $K_t / M$ の値は「500」から「1000」の間くらいにあることが、健常者の範囲である可能性が見出せた。したがって、 $R_m / M$ と $K_t / M$ の値に関する健常者のデータベースを作成することにより、 $R_m / M (= Z_m / M)$ の値や $K_t / M (= M / Z_t)$ の値を筋肉や腱の硬さの評価指標とすることができると考えられる。

【 0 0 5 3 】

今回推定した $R_m / M$ と $K_t / M$ は、一般に歩行解析等に使われるH i l lモデル (De 10  
Ip S, Loan P, Hoy M, Zajac F E, Fisher S, and Rosen J. An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedicsurgical procedures. IEEE Trans. on Biomedical Engineering, 37(8), August 1990, 757-767.参照)といわれる筋肉モデル(図9(a))に非常に近い。図9(a)に示すように、収縮部902と並列弾性部903(絵がコイル状になっているのはバネ性を意味している。)が並列接続され、それらと腱部901が直列接続されている。

【 0 0 5 4 】

そして、一例として、このH i l lモデルで使われている一般的な用語に今回のパラメータを置き換えてモデル化したものが図9(b)である。 $R_m$ が収縮部(contractile element: CE)913、 $R_t$ が収縮部912、 $K_t$ が腱部(series elastic element: SEE) 20  
911に対応すると考えられる。つまり、腱部911と収縮部912が $Z_t$ に相当し(図7(b)の(b2))参照)、収縮部913が $Z_m$ に相当する(図7(a)参照)。

【 0 0 5 5 】

このように、第1の実施形態におけるタッピングの筋力学モデルは、H i l lモデルと類似しており、妥当性が高いと言える。ただし、第1の実施形態におけるタッピングの筋力学モデルを利用した解析方法は、慣性の法則等を利用して、オープニング時とクロージング時の速度と加速度から、指運動に使用される筋肉の硬さ等の評価指標を求めるという点で、H i l lモデルと比較しても新規性および進歩性を有するものである。

【 0 0 5 6 】

<<実験データ>>

次に、図10~図12を参照しながら、第1の実施形態のタッピングの筋力学モデルに関する非周期検査による実験のデータについて説明する。図10は、脳疾患等の既往歴のない健康な高齢者(以下、単に「高齢者」ともいう。)5名を被験者として行った実験に関するデータである。図10(a)において、横軸は高齢者ID、縦軸は $R_m / M$ の値(各高齢者について、左の棒グラフが左手、右の棒グラフが右手)を示している。同様に、図10(b)において、横軸は高齢者ID、縦軸は $K_t / M$ の値を示している。

【 0 0 5 7 】

図10の場合と同様に、図11は、パーキンソン病患者4名を被験者として行った実験に関するデータである。図11(a)において、横軸は患者ID、縦軸は $R_m / M$ の値を示している。同様に、図11(b)において、横軸は患者ID、縦軸は $K_t / M$ の値を示している。

【 0 0 5 8 】

図10と図11を比較すれば分かるように、 $R_m / M$ の値と $K_t / M$ の値ともに、パーキンソン病患者のほうが高い傾向がある。したがって、 $R_m / M$ の値と $K_t / M$ の値について、例えば、多くの健康な高齢者のデータを収集して平均値を出し、その平均値に比べてどれだけ高いかを、指運動に使用される筋肉の硬さ等の評価指標として使用することができる。なお、指の質量Mで除算することによる規格化は必須ではない。

【 0 0 5 9 】

具体的には、「標準正規分布の値 = (測定値 - 平均値) / 標準偏差」という計算式で正規化した値に変換した値を評価指標として算出することができる。ここで、「平均値」は 50

健康な高齢者で測定された値の平均値を示し、「標準偏差」はその健康な高齢者（複数人）で測定された値の標準偏差を示す。また、 $R_m / M$ の値や $K_t / M$ の値以外に、各運動波形から得られる他のパラメータに関して、前記評価指標を作成してもよい。

【0060】

この標準正規分布の値（正規化された値）を評価指標とすることで、測定されたデータが標準値（平均値）に対してどれくらい外れているかを定量的に理解することができる。つまり、平均値と同じであれば「1」になり、値が小さければ標準値より小さい値（例えば「0.8」）であり、値が大きければ標準値より大きい値（例えば「1.3」）であるので、高齢者等にとっても容易に理解することができる。これらの評価指標の値は、生体検査装置108の表示部124に表示され、検査者や被験者に評価基準を提示することができる。

10

【0061】

また、各タッピングごとに $R_m / M$ の値と $K_t / M$ の値を計算し、表示してもよい。図12は、各タッピングごとに $R_m / M$ の値と $K_t / M$ の値を計算する場合についての説明図である。図12(a)～(c)は、図3(a)～(c)と同様なので、説明を省略する。図12(d)に示すように、各タッピングごとに $R_m / M$ の値と $K_t / M$ の値を計算して表示することができる。このようにすれば、例えば、健常者は20秒経過しても $R_m / M$ の値や $K_t / M$ の値があまり変化しないが、パーキンソン病患者等は20秒経過すると $R_m / M$ の値や $K_t / M$ の値が大きく変化する、等の、健常者とパーキンソン病患者等との相違に基づいて、指運動に使用される筋肉の硬さ等の評価指標を算出し、使用することができる。

20

【0062】

このように、第1の実施形態の生体検査システムSによれば、被験者の指運動を力学的に解析し、指運動に使用される筋肉の硬さ等の評価指標を求めることができる。つまり、例えば、パーキンソン病患者は、常時、全身または部分的に、筋肉に力が入っている状態となることが多く、そのために筋肉の硬直等が起こりやすいが、第1の実施形態のように筋力学モデルに基づいた解析を行うことで、筋肉の硬さ等の適切な評価指標を得ることができる。

【0063】

以上で、第1の実施形態の説明を終えるが、本発明の態様はこれらに限定されるものではない。

30

例えば、本発明は、パーキンソン病の検査に適用される他、例えば、脳梗塞等、他の脳神経疾患やリウマチなどの変性疾患の検査にも有効に利用することができる。

その他、ハードウェア、プログラム等の具体的な構成について、本発明の主旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【0064】

[第2の実施形態]

次に、本発明の第2の実施形態について説明する。第1の実施形態との違いは、二指を開いた（開ききった）状態の近く（以下、「開放状態近傍」という。）での指の運動と、二指を閉じた（二指が接触した）状態の近く（以下、「接触状態近傍」という。）での指の運動と、を分離して扱い、二指の運動に関して、より詳細なモデル化および各計算を行うことにある。

40

【0065】

<<構成>>

第2の実施形態の生体検査システムの構成は、第1の実施形態の生体検査システムの構成（図1、図2）と同様なので、説明を省略する。

【0066】

図13は、被験者のタッピング（二指（親指Tと残りのいずれかの一指）の開閉動作）により得られる情報の例である。図13(a)～(c)は、図3(a)～(c)と同様の図を時間軸方向に拡大した図であり、図3(a)～(c)と共通の事項については説明を

50

省略する。

【0067】

図13(a)~(c)に示すように、各回のタッピングは、オープニング区間134とクロージング区間135に分けることができる。オープニング区間134とクロージング区間135の境界は、図13(a)に示すポイントP1(二指の距離D(mm)の最大値の地点)である。オープニング区間134の時間帯において、被験者は二指の開動作を行っており、クロージング区間135の時間帯において、被験者は二指の閉動作を行っている。

【0068】

図13(b)において、ポイントOP1は、二指が開くとき(オープニング)の速度のプラスのピーク(極大値)時を示し、ポイントCP1は、二指が閉じるとき(クロージング)の速度のマイナスのピーク(極大値)時を示している。

10

【0069】

図13(c)において、ポイントOP2は、オープニング(開運動区間)の加速度のプラスのピーク(極大値)時を示し、ポイントOP3は、オープニングの加速度のマイナスのピーク(極大値)時を示している。

図13(c)において、ポイントCP2は、クロージング(閉運動区間)の加速度のプラスのピーク(極大値)時を示し、ポイントCP3は、クロージングの加速度のマイナスのピーク(極大値)時を示している。

【0070】

20

ここで、オープニング区間134とクロージング区間135とを合わせた区間の時間帯のうち、例えば、図13(b)に示すポイントOP1からポイントCP1までの時間帯が二指の開放状態近傍での運動を含む時間帯であり、それ以外の時間帯が二指の接触状態近傍での運動を含む時間帯である。そして、この第2の実施形態では、それぞれの時間帯に関し、Vo, Ao, VcおよびAcの値を計算して使用する。ここでは、二指の開放状態近傍での運動におけるVo, Ao, VcおよびAcとして、ポイントOP1, OP3, CP1およびCP3での各値を使用する(表1参照)。また、二指の接触状態近傍での運動におけるVo, Ao, VcおよびAcとして、ポイントOP1, OP2, CP1およびCP2での各値を使用する(表1参照)。ちなみに、この第2実施形態でも、Voはオープニングの平均極大速度、Aoはオープニングの平均極大加速度、Vcはクロージングの平均極大速度、Acはクロージングの平均極大加速度である。

30

【表1】

表1

開放状態近傍	接触状態近傍
VoはOP1の値を使用する	VoはOP1の値を使用する
AoはOP3の値を使用する	AoはOP2の値を使用する
VcはCP1の値を使用する	VcはCP1の値を使用する
AcはCP3の値を使用する	AcはCP2の値を使用する

40

【0071】

<<運動力学的な解析モデル>>

次に、第2の実施形態の運動力学的な解析モデルについて説明する。なお、第1の実施形態と同様の事項については、説明を適宜省略する。式(1)、式(2)、式(3)およびその前提となる考え方については、第1の実施形態と同様である。

【0072】

第1の実施形態と同様、A/Vの値を評価するために、タッピングのオープニング時の極大速度、極大加速度、および、クロージング時の極大速度と極大加速度を、全てのタッピング周期で図13(b), (c)のように抽出する。

50



## 【 0 0 7 3 】

図 1 4 は、第 2 の実施形態の運動力学的な解析モデルの説明図である。図 1 4 ( a ) は、開放状態近傍に関する説明図で、( a 1 ) は被験者の手の模式図であり、( a 2 ) は力学モデル図である。

## 【 0 0 7 4 】

図 1 4 ( a 1 ) に示すように、タッピングの際、実際には親指 T と人差し指 F の両方が動くが、ここでは、説明を簡単にするため、親指 T は固定され、人差し指 F だけが動くものとする。また、実際の人手の構造を簡単にモデル化するため、人差し指 F の内部には、骨 1 4 0、屈筋  $Q_1$ 、伸筋  $Q_2$  があるものとする。

## 【 0 0 7 5 】

屈筋  $Q_1$  は、被験者の意思により収縮することで、人差し指 F を親指 T に近づける役割を果たす。伸筋  $Q_2$  は、被験者の意思により収縮することで、人差し指 F を親指 T から遠ざける役割を果たす。

## 【 0 0 7 6 】

$F_1$  は、屈筋  $Q_1$  により生み出される力と、屈筋  $Q_1$  につながっている腱によるバネ力との合成力（以下、「屈筋  $Q_1$  側の力」という。）を示す。 $F_2$  は、伸筋  $Q_2$  により生み出される収縮力と、伸筋  $Q_2$  につながっている腱によるバネ力との合成力（以下、「伸筋  $Q_2$  側の力」という。）を示す。また、 $F_1$  と  $F_2$  は「0」以上の値をとるものとし、二指の開放方向を正の向きとする。

## 【 0 0 7 7 】

ここで、開放状態近傍では、被験者が脱力すると二指が自然に近づくという事実から、二指を開く場合には伸筋  $Q_2$  の収縮力のほかに屈筋  $Q_1$  の腱による反発力が生じるものと仮定し、二指を閉じる場合には屈筋  $Q_1$  の収縮力のほかに伸筋  $Q_2$  の腱による付勢力（サポートする力）が生じるものと仮定する。

## 【 0 0 7 8 】

つまり、図 1 4 ( a 2 ) に示すように、開放状態近傍で二指を開く場合、伸筋  $Q_2$  側の力  $F_2$  が駆動力となり、屈筋  $Q_1$  側の力 -  $F_1$  に抗って、二指が開く動作を行うものとする。この場合、運動方程式として式 ( 1 3 a ) が成り立ち、式 ( 1 ) を使ってこの式 ( 1 3 a ) を変形すると式 ( 1 3 b ) となり、この式 ( 1 3 b ) をさらに変形すると式 ( 1 3 ) となる。

## 【 0 0 7 9 】

## 【 数 9 】

$$-F_1 + F_2 = MA_o \quad \dots (13a)$$

$$(-Z_1 + Z_2)V_o = MA_o \quad \dots (13b)$$

$$\frac{(-Z_1 + Z_2)}{M} = \frac{A_o}{V_o} \quad \dots (13)$$

## 【 0 0 8 0 】

また、図 1 4 ( a 2 ) に示すように、開放状態近傍で二指を閉じる場合、屈筋  $Q_1$  側の力 -  $F_1$  が駆動力となり、伸筋  $Q_2$  側の力 -  $F_2$  がさらに加わり、二指が閉じる動作を行うものとする。この場合、運動方程式として式 ( 1 4 a ) が成り立ち、式 ( 1 ) を使ってこの式 ( 1 4 a ) を変形すると式 ( 1 4 b ) となり、この式 ( 1 4 b ) をさらに変形すると式 ( 1 4 ) となる。

## 【 0 0 8 1 】

10

20

30

40

【数 1 0】

$$-F_1 - F_2 = -MA_c \quad \dots (14a)$$

$$(-Z_1 - Z_2)V_c = -MA_c \quad \dots (14b)$$

$$\frac{(Z_1 + Z_2)}{M} = \frac{A_c}{V_c} \quad \dots (14)$$

10

【0082】

そして、式(13)、(14)を連立して計算すると、次の式(15)(開放状態近傍用の開運動の計算式)、(16)(開放状態近傍用の閉運動の計算式)を得ることができる。

【数 1 1】

$$\frac{Z_1}{M} = \left( \frac{A_c}{V_c} - \frac{A_o}{V_o} \right) / 2 \quad \dots (15)$$

$$\frac{Z_2}{M} = \left( \frac{A_c}{V_c} + \frac{A_o}{V_o} \right) / 2 \quad \dots (16)$$

20

【0083】

式(15)、(16)を用いれば、開放状態近傍における $A_o$ 、 $A_c$ 、 $V_o$ および $V_c$ の値から、 $Z_1/M$ と $Z_2/M$ の値を求める(推定する)ことができる。この場合、 $Z_1/M$ は二指の閉運動に関する機械インピーダンスを示し、 $Z_2/M$ は二指の開運動に関する機械インピーダンスを示す。

【0084】

一方、接触状態近傍では、被験者が脱力すると二指が自然に遠ざかるという事実から、二指を開く場合には伸筋 $Q_2$ の収縮力のほかに屈筋 $Q_1$ の腱による付勢力が生じるものと仮定し、二指を閉じる場合には屈筋 $Q_1$ の収縮力のほかに伸筋 $Q_2$ の腱による反発力が生じるものと仮定する。

30

【0085】

つまり、図14(b2)に示すように、接触状態近傍で二指を開く場合、伸筋 $Q_2$ 側の力 $F_2$ が駆動力となり、屈筋 $Q_1$ 側の力 $F_1$ がさらに加わり、二指が開く動作を行うものとする。この場合、運動方程式として式(17a)が成り立ち、式(1)を使ってこの式(17a)を変形すると式(17b)となり、この式(17b)をさらに変形すると式(17)となる。

【0086】

【数 1 2】

$$F_1 + F_2 = MA_o \quad \dots (17a)$$

$$(Z_1 + Z_2)V_o = MA_o \quad \dots (17b)$$

$$\frac{(Z_1 + Z_2)}{M} = \frac{A_o}{V_o} \quad \dots (17)$$

40

50

## 【 0 0 8 7 】

また、図 1 4 ( b 2 ) に示すように、接触状態近傍で二指を閉じる場合、屈筋  $Q_1$  側の力  $F_1$  が駆動力となり、伸筋  $Q_2$  側の力  $F_2$  に抗って、二指が閉じる動作を行うものとする。この場合、運動方程式として式 ( 1 8 a ) が成り立ち、式 ( 1 ) を使ってこの式 ( 1 8 a ) を変形すると式 ( 1 8 b ) となり、この式 ( 1 8 b ) をさらに変形すると式 ( 1 8 ) となる。

## 【 0 0 8 8 】

## 【数 1 3】

$$-F_1 + F_2 = -MA_c \quad \dots (18 a)$$

10

$$(-Z_1 + Z_2)V_c = -MA_c \quad \dots (18 b)$$

$$\frac{(Z_1 - Z_2)}{M} = \frac{A_c}{V_c} \quad \dots (18)$$

## 【 0 0 8 9 】

そして、式 ( 1 7 ) , ( 1 8 ) を連立して計算すると、次の式 ( 1 9 ) ( 接触状態近傍用の開運動の計算式 ) , ( 2 0 ) ( 接触状態近傍用の閉運動の計算式 ) を得ることができる。

20

## 【数 1 4】

$$\frac{Z_1}{M} = \left( \frac{A_o}{V_o} + \frac{A_c}{V_c} \right) / 2 \quad \dots (19)$$

$$\frac{Z_2}{M} = \left( \frac{A_o}{V_o} - \frac{A_c}{V_c} \right) / 2 \quad \dots (20)$$

30

## 【 0 0 9 0 】

式 ( 1 9 ) , ( 2 0 ) を用いれば、接触状態近傍における  $A_o$  ,  $A_c$  ,  $V_o$  および  $V_c$  の値から、 $Z_1 / M$  と  $Z_2 / M$  の値を求める ( 推定する ) ことができる。

## 【 0 0 9 1 】

図 1 5 は、二指の開放状態近傍 ( 二指を開いた状態の近く ) の運動について、周期検査で測定された指の動きの解析結果 ( 複数人の平均 ) を示す図であり、( a ) が女性の左手の解析結果、( b ) が女性の右手の解析結果、( c ) が男性の左手の解析結果、( d ) が男性の右手の解析結果を示している。なお、各値に付した「 I 」の形状の両端は各値の標準偏差を示している。これにより、ほとんどの値は、標準偏差が小さい、つまり、ばらつきが少なく信頼性のあるデータであることがわかる。

40

## 【 0 0 9 2 】

図 1 5 ( a ) に示すように、符号 1 0 0 1 の各値はオープニング ( Open ) の  $A / V$  の値、符号 1 0 0 2 の各値はクロージングとオープニングの  $A / V$  の値を足して 2 で割った値 [  $( C + O ) / 2$  ] (  $Z_2$  )、符号 1 0 0 3 の各値はクロージングの  $A / V$  の値からオープニングの  $A / V$  の値を引いて 2 で割った値 [  $( C - O ) / 2$  ] (  $Z_1$  )、符号 1 0 0 4 の各値はクロージング ( Close ) の  $A / V$  の値を、それぞれ示している。

## 【 0 0 9 3 】

図 1 5 ( a ) からわかるように、 $Z_2$  の値は周波数によらずほぼ一定の値であり、 $Z_1$  の値は周波数 2 ~ 3 Hz あたりから周波数と共に減少する傾向がある。したがって、各機械インピーダンスを電気回路に置き換えると、図 1 7 に示すように、 $Z_1$  は抵抗  $R$  とコンデ

50

ンサCの並列回路と考えることができ((a1)参照)、 $Z_2$ は電気抵抗Rと考えることができる((a2)参照)。図17は、図7と同様の等価回路図である。

【0094】

図15(b)、(c)および(d)において、符号1011~1014、符号1021~1024および符号1031~1034は、図15(a)における符号1011~1014に対応しており、 $Z_1$ と $Z_2$ に関して、図15(a)と同様の傾向が見られる(男女差や右手左手による差異が認められない)。

【0095】

図16は、二指の接触状態近傍(二指を閉じた状態の近く)の運動について、周期検査で測定された指の動きの解析結果(複数人の平均)を示す図であり、(a)が女性の左手の解析結果、(b)が女性の右手の解析結果、(c)が男性の左手の解析結果、(d)が男性の右手の解析結果を示している。

10

【0096】

図16(a)に示すように、符号2001の各値はオープニング(Open)のA/Vの値、符号2002の各値はオープニングとクロージングのA/Vの値を足して2で割った値 $[(O+C)/2]$ ( $Z_1$ )、符号2003の各値はオープニングのA/Vの値からクロージングのA/Vの値を引いて2で割った値 $[(O-C)/2]$ ( $Z_2$ )、符号2004の各値はクロージング(Close)のA/Vの値を、それぞれ示している。

【0097】

図16(a)からわかるように、 $Z_1$ の値は周波数によらずほぼ一定の値であり、 $Z_2$ の値は3Hz位までは一定の値となり4Hz以上ではほとんど値を持たない。したがって、各機械インピーダンスを電気回路に置き換えると、図17に示すように、 $Z_1$ と $Z_2$ (1~3Hz)はともに電気抵抗Rと考えることができる((b1)、(b2)参照)。

20

【0098】

図16(b)、(c)および(d)において、符号2011~2014、符号2021~2024および符号2031~2034は、図16(a)における符号2011~2024に対応しており、 $Z_1$ と $Z_2$ に関して、図16(a)と同様の傾向が見られる(男女差や右手左手による差異が認められない)。

【0099】

<<実験データ>>

30

次に、図18を参照しながら、第2の実施形態の実験のデータについて説明する。被験者は、脳疾患等の既往歴のない健康な男女(複数ずつ)の中高齢者である。図18(a1)、(a2)は二指の開放状態近傍の運動に関するデータであり、図18(b)は二指の接触状態近傍の運動に関するデータである(いずれのデータも周波数2Hz程度の場合のもの)。

【0100】

図18(a1)において、横軸は左から順に女性の左手、右手、男性の左手、右手を示し、縦軸はR/Mの値(白い棒グラフは $Z_1$ に対応。斜線付き棒グラフは $Z_2$ に対応)を示している。図18(a2)において、横軸は図18(a1)と同様であり、縦軸はK/Mの値(図10(b)と同様)を示している。

40

【0101】

図18(b)において、横軸は図18(a1)と同様であり、縦軸はR/Mの値(白い棒グラフは $Z_1$ に対応。斜線付き棒グラフは $Z_2$ に対応)を示している。

なお、図18(a1)、(b)において、各値に付した「T」の形状の上端は各値の標準偏差を示している。これにより、ほとんどの値は、標準偏差が小さい、つまり、ばらつきが少なく信頼性のあるデータであることがわかる。

【0102】

図18に示すように、第2の実施形態の生体検査システムSによれば、被験者の指運動を力学的に解析し、被験者の指運動に使用される筋肉の硬さ等に関する適切な評価指標を求めることができ、さらに、二指の開放状態近傍と接触状態近傍での運動に関する各値の

50

特徴を、別々に評価することができる。つまり、接触状態近傍で異常が出やすい疾患（例えばパーキンソン病）や、開放状態近傍で異常が出やすい疾患（例えば脳卒中）を、より高精度に把握するためのパラメータ（各値）を導出することができる。

【0103】

以上で、第2の実施形態の説明を終えるが、本発明の態様はこれらに限定されるものではない。

例えば、第1の実施形態と同様、各機械インピーダンスを、二指の質量で除算して規格化したり、それぞれの平均値および標準偏差によって正規化したりして、評価指標とすることができる。

その他、ハードウェア、プログラム等の具体的な構成について、本発明の主旨を逸脱しない範囲で適宜変更が可能である。

【図面の簡単な説明】

【0104】

【図1】本実施形態の生体検査システムの全体構成図である。

【図2】本実施形態において、発信用コイルと受信コイルとを被験者の片手に装着した様子を示す説明図である。

【図3】被験者のタッピングにより得られる情報の例であり、(a)が時間と二指（親指Tと人差し指F）の距離の関係図、(b)が時間と二指の相対速度の関係図、(c)が時間と二指の相対加速度の関係図である。

【図4】周期検査で測定された指の動きの解析結果を示す図であり、(a)が右手の解析結果、(b)が左手の解析結果である。

【図5】タッピングの筋力学モデルを示す模式図である。

【図6】周波数ごとの $Z_m/M$ と $Z_t/M$ の値を示す図である。

【図7】(a)が $Z_m$ の等価回路図、(b)が $Z_t$ の等価回路図である。

【図8】(a)が $R_m/M$ の値を示す図、(b)と(c)が $K_t/M$ の値を示す図である。

【図9】(a)が一般的なHillモデルの模式図、(b)がHillモデルに合わせたタッピングモデルの模式図である。

【図10】健康な高齢者5名を被験者として行った実験に関するデータである。

【図11】パーキンソン病患者4名を被験者として行った実験に関するデータである。

【図12】各タッピングごとに $R_m/M$ の値と $K_t/M$ の値を計算する場合についての説明図である。

【図13】第2の実施形態において、被験者のタッピングにより得られる情報の例である。

【図14】第2の実施形態の運動力学的な解析モデルの説明図である。

【図15】第2の実施形態において、二指の開放状態近傍の運動について、周期検査で測定された指の動きの解析結果（複数人の平均）を示す図である。

【図16】第2の実施形態において、二指の接触状態近傍の運動について、周期検査で測定された指の動きの解析結果（複数人の平均）を示す図である。

【図17】第2の実施形態における等価回路図である。

【図18】第2の実施形態において、(a1)、(a2)は二指の開放状態近傍の運動に関するデータであり、図18(b)は二指の接触状態近傍の運動に関するデータである。

【符号の説明】

【0105】

- 101 受信コイル
- 102 発信用コイル
- 103 プリアンプ回路
- 104 検波回路
- 105 LPF回路
- 106 アンプ回路

10

20

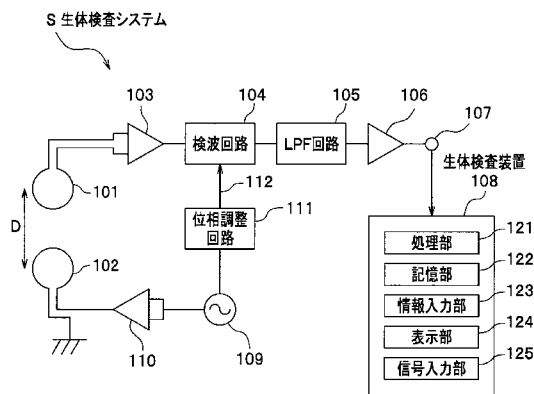
30

40

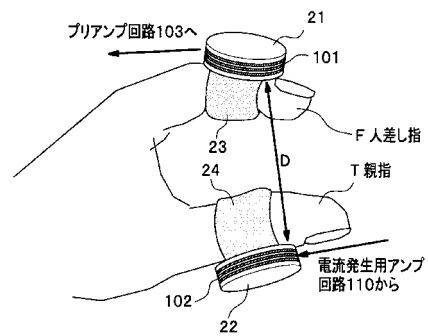
50

- 1 0 7 出力信号
- 1 0 8 生体検査装置
- 1 0 9 交流発生回路
- 1 1 0 電流発生用アンプ回路
- 1 1 1 位相調整回路
- 1 1 2 参照信号
- 1 2 1 処理部
- 1 2 2 記憶部
- 1 2 3 情報入力部
- 1 2 4 表示部
- 1 2 5 信号入力部
- S 生体検査システム
- $Z_m, Z_t, Z_1, Z_2$  機械インピーダンス

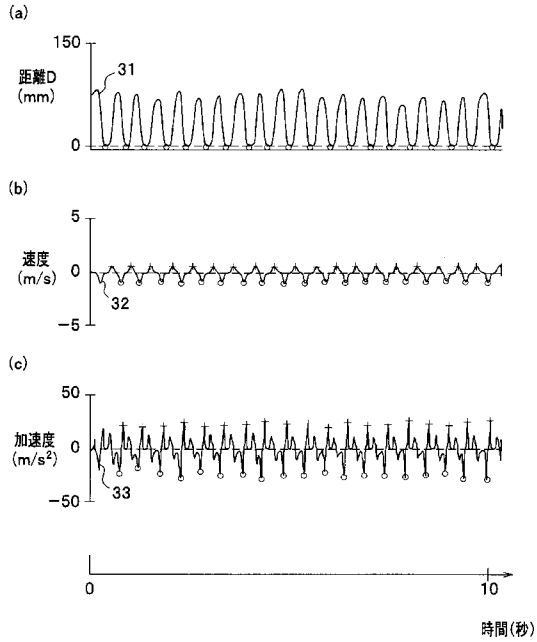
【図1】



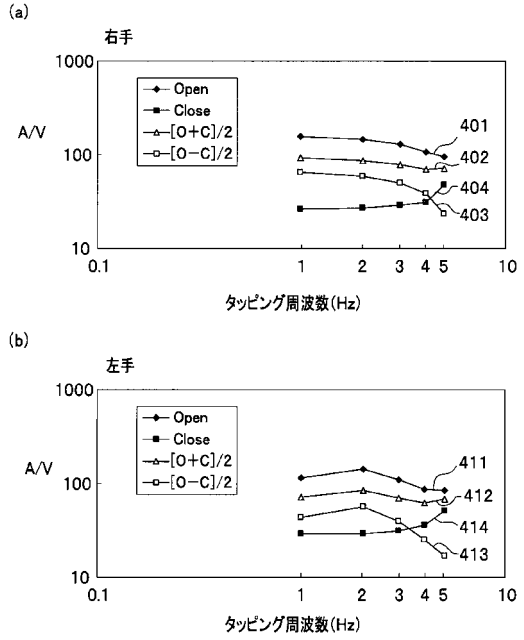
【図2】



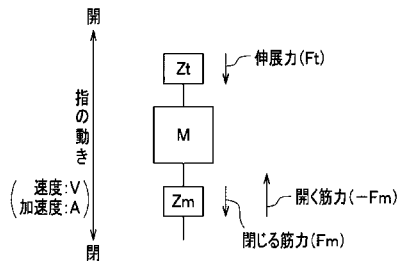
【 図 3 】



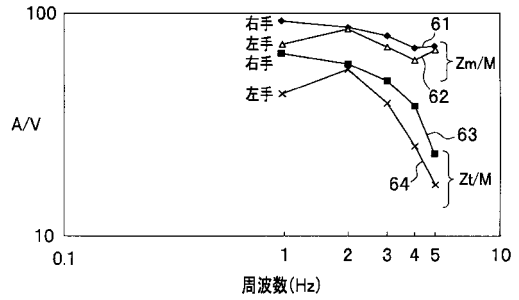
【 図 4 】



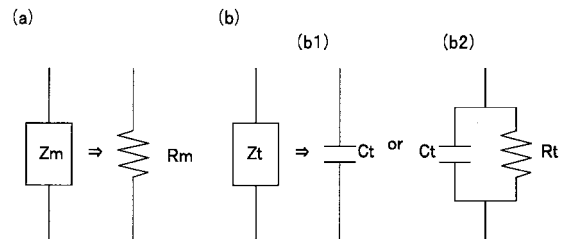
【 図 5 】



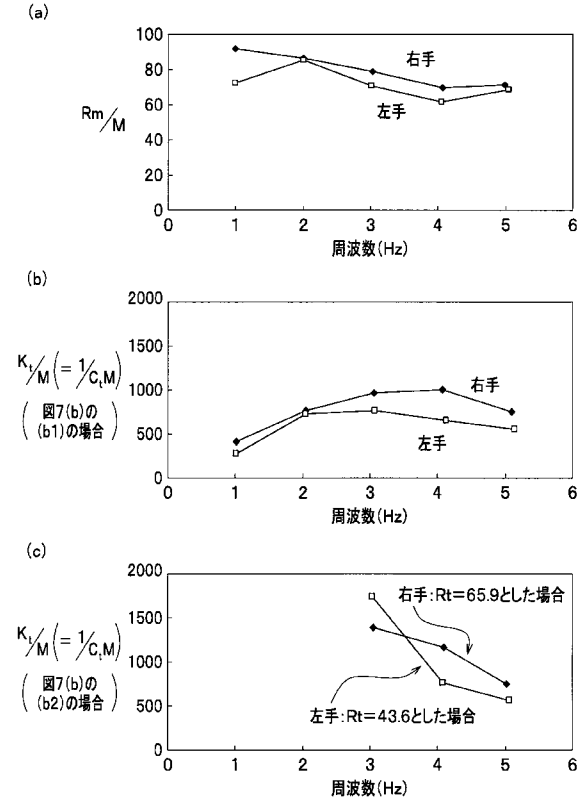
【 図 6 】



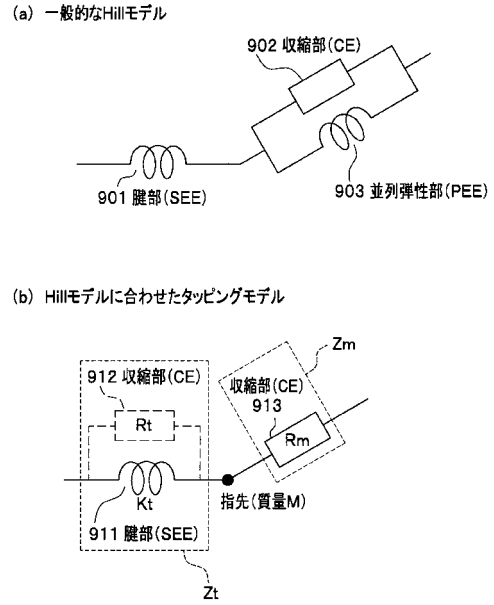
【 図 7 】



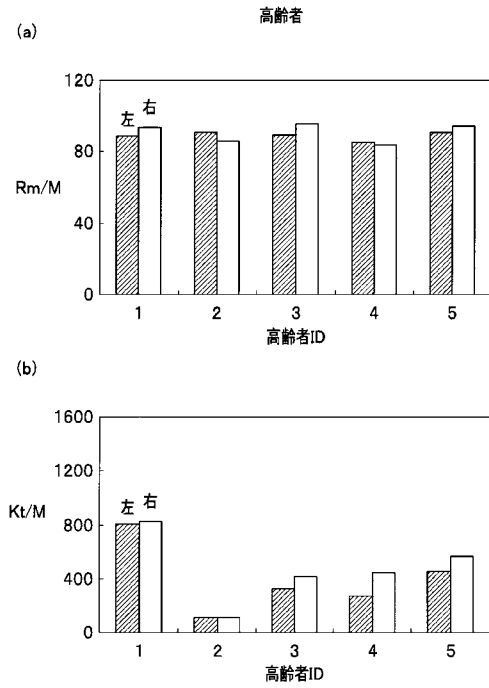
【図8】



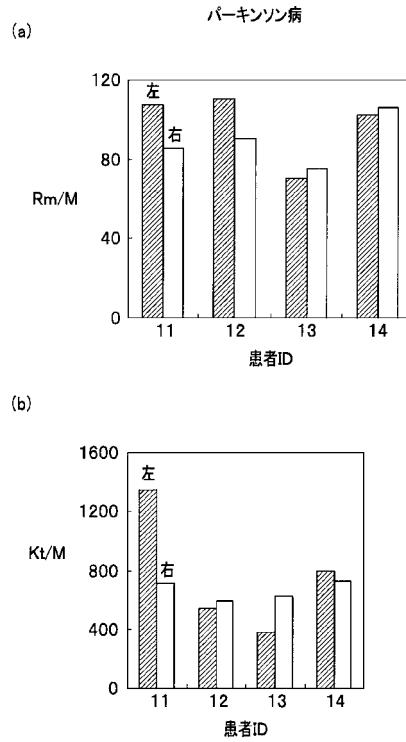
【図9】



【図10】

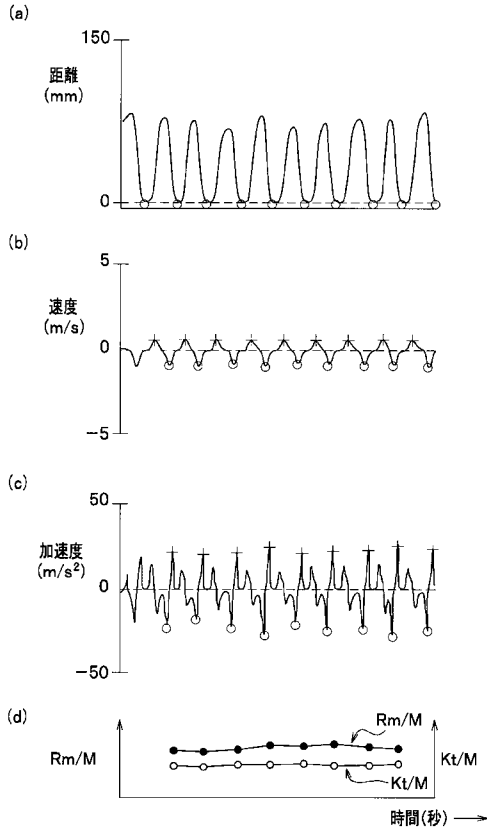


【図11】

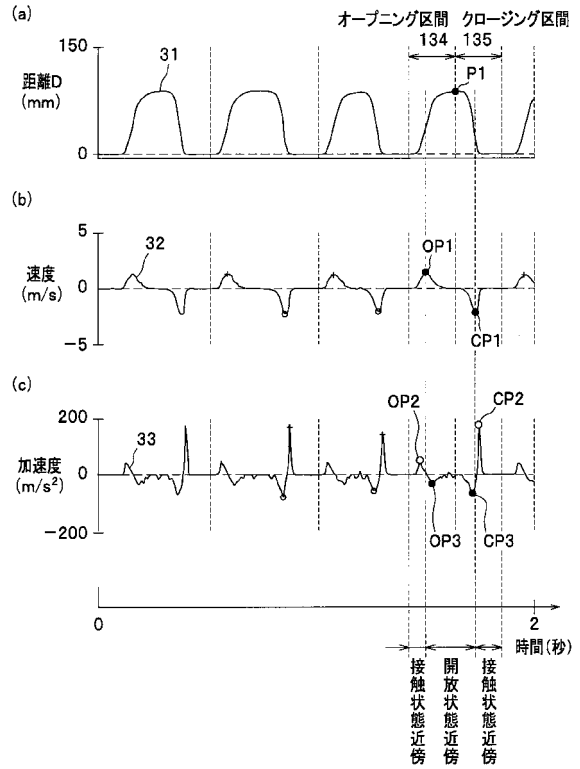




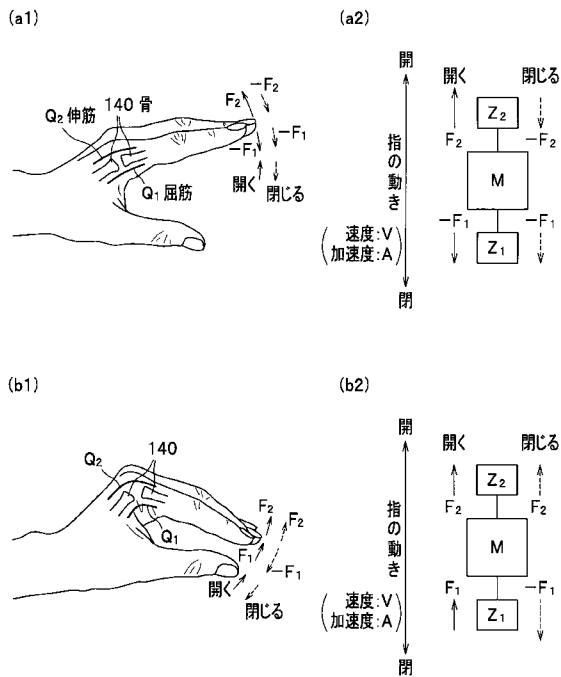
【 図 1 2 】



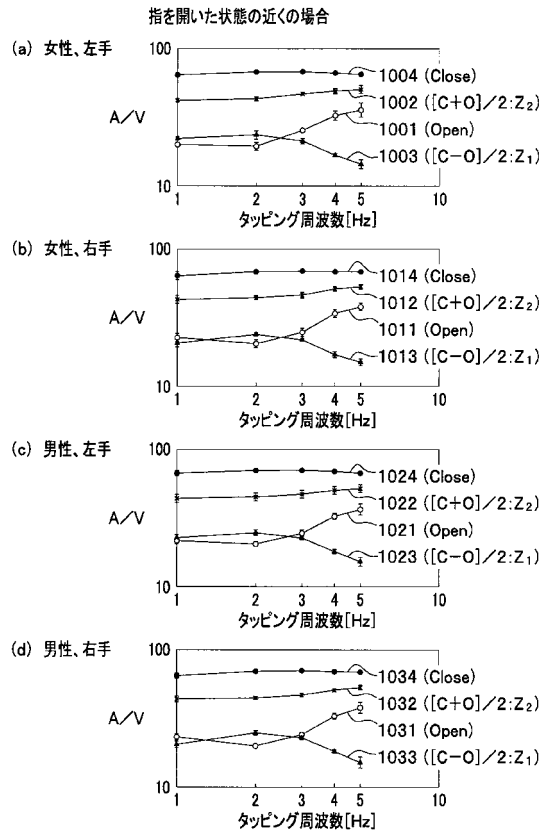
【 図 1 3 】



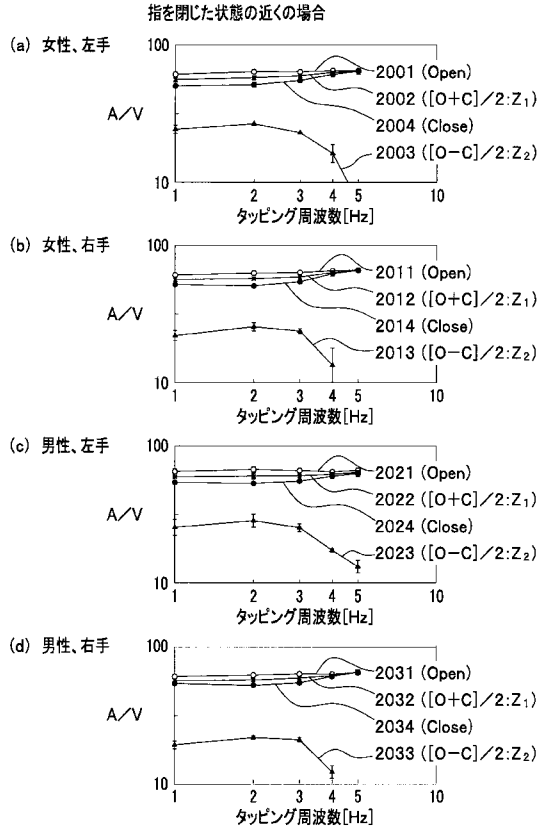
【 図 1 4 】



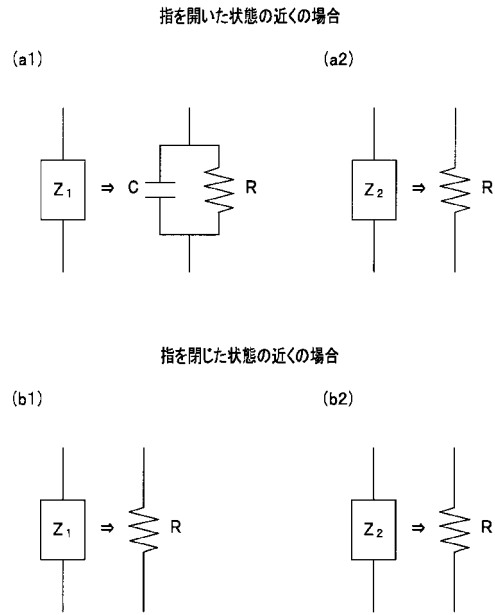
【 図 1 5 】



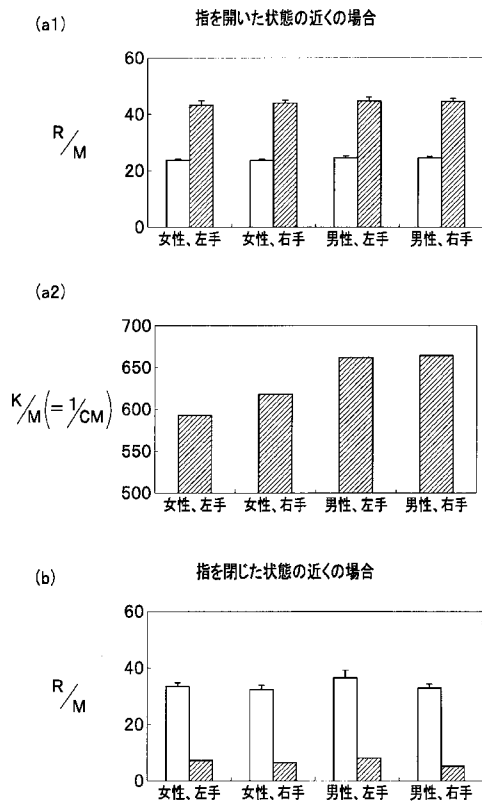
【図16】



【図17】



【図18】



---

フロントページの続き

審査官 福田 裕司

- (56)参考文献 特許第3841075(JP, B2)  
特開2005-152053(JP, A)  
特開2006-296618(JP, A)  
特開2007-054597(JP, A)  
特開2007-301003(JP, A)  
特開2006-320533(JP, A)  
特表平10-511866(JP, A)  
特開2004-157850(JP, A)  
特開2003-284704(JP, A)  
奥野 竜平 他, "指タップ加速度計測システムの開発とパーキンソン病診断支援への応用",  
日本生体医工学会誌 第43巻 第4号, 2005年, 752~761頁

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/11

A61B 5/22