

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3782734号

(P3782734)

(45) 発行日 平成18年6月7日(2006.6.7)

(24) 登録日 平成18年3月17日(2006.3.17)

(51) Int. Cl.		F I			
A 6 1 B	3/028	(2006.01)	A 6 1 B	3/02	A
A 6 1 B	3/10	(2006.01)	A 6 1 B	3/10	Z
A 6 1 B	3/11	(2006.01)	A 6 1 B	3/10	A
A 6 1 B	3/02	(2006.01)	A 6 1 B	3/02	C

請求項の数 5 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2002-3444 (P2002-3444)	(73) 特許権者	000220343
(22) 出願日	平成14年1月10日(2002.1.10)		株式会社トプコン
(65) 公開番号	特開2003-204936 (P2003-204936A)		東京都板橋区蓮沼町75番1号
(43) 公開日	平成15年7月22日(2003.7.22)	(74) 代理人	100097320
審査請求日	平成16年12月17日(2004.12.17)		弁理士 宮川 貞二
		(74) 代理人	100097744
			弁理士 東野 博文
		(74) 代理人	100096611
			弁理士 宮川 清
		(74) 代理人	100098040
			弁理士 松村 博之
		(74) 代理人	100107777
			弁理士 高橋 和夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 コントラスト感度測定装置、コントラスト感度測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

コントラスト視標を呈示するコントラスト視標表示部と；

被検眼の光学的特性データに応じて、前記コントラスト視標表示部で表示させるコントラスト視標を決定するコントラスト視標データ決定部と；

前記コントラスト視標データ決定部で作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従って前記コントラスト視標表示部にコントラスト視標の呈示を行わせるコントラスト視標表示制御部と；

呈示されたコントラスト視標に対する被検眼者の応答履歴データを用いて、前記被検眼者に対するコントラスト測定結果を表示する表示部と；

を有するコントラスト感度測定装置。

【請求項2】

前記コントラスト視標データ決定部は、前記被検眼の光学的特性データに加えて、さらに既に測定された前記被検眼者に対するコントラスト測定結果に基づき、前記コントラスト視標表示部にて表示させるコントラスト視標を決定する請求項1に記載のコントラスト感度測定装置。

【請求項3】

前記コントラスト視標データ決定部は、前記被検眼の光学的特性データに基づき、呈示するコントラスト視標の初期値、若しくは呈示するコントラスト視標の変化度合いの少なくとも一方を決定するように構成されている請求項1又は請求項2に記載のコントラスト

10

20

感度測定装置。

【請求項 4】

前記被検眼の光学的特性データは、波面センサで測定した被検眼の波面情報から、空間周波数特性 (Modulation Transfer Function) を、少なくとも前記コントラスト視標表示部にて表示される空間周波数を含む空間周波数領域について計算したものであることを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 の何れか一つに記載のコントラスト感度測定装置。

【請求項 5】

被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部で表示させるコントラスト視標を決定し；

コントラスト視標データ決定部で作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の 10
手順に従って前記コントラスト視標表示部にコントラスト視標の呈示を行わせ；

呈示されたコントラスト視標に対する前記被検眼者の応答履歴データを用いて、前記被
検眼者に対するコントラスト測定結果を表示する；

工程を有するコントラスト感度測定方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

この発明は、コントラストチャートを用いる視力検査に用いて好適なコントラスト感度測
定装置に関する。より詳しくは、レーザ眼科手術の施術時、眼鏡やコンタクトレンズによ
る視力の改善のように、被検者の眼球の収差を正確に定める場合に好適なコントラスト感
度測定装置、コントラスト感度測定方法に関する。 20

【0002】

【従来の技術】

最近、角膜などをレーザにより変形するような眼科手術が試みられており、その際には、
眼の収差を正確に測定することが重要になってきている。このような角膜手術や白内障手
術の前後には、視機能検査が行われている。ここで、視機能検査には視力測定、低コント
ラストの視力測定 (対比視力測定とも言う)、コントラスト感度測定 (対比感度測定とも
言う) が含まれる。

【0003】

ここで、標準視力チャートによる一般視力検査は、高いコントラスト比の細かい対象物に
対する視力をテストしている。そこで、例えば、白内障患者においては水晶体の混濁が光
の散乱を引き起こし、眼底での像のコントラストを低下させているが、像の光学的な焦点
位置のズレには影響を与えない。その結果、眼底での像がボンヤリしているが、白内障
患者である検眼者には文字としては読めてしまう場合がある。また、角膜と水晶体の光学的
歪により球面収差を生じている場合も、眼底での像がボンヤリしているが、検眼者には文
字としては読めてしまう場合がある。 30

【0004】

他方、最小のコントラストで特定の対象があるか検出する能力を示すコントラスト感度は
、被検者の日常生活や社会生活における視覚能力を示す上で重要である。そこで、コント
ラスト感度の測定では、単一の空間周波数特性を調べるため、正弦波格子縞が用いられて
いる。正弦波格子縞は、正弦波的に濃淡が変化している縞模様である。コントラスト感度
は、縞模様を認めるのに必要な最低のコントラストを、いろいろな細かさ (空間周波数)
において測定するものである。 40

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

しかし、コントラスト感度は被検者 (患者) が視力チャートを検査員の指示に従って読む
形で行われていたため、以下の課題があった。

1 単一の視力チャートを用いて検査しているので、繰り返し検査では被検者が視力チャ
ートを覚えてしまうことが多かった。例えば、右目の後に左目を検査する場合、右目の
ほうが良いと、左目で見えなくても記憶により正答でき、被検者のコントラスト感度を正 50

確に測定することが困難であった。

2 コントラスト感度測定には、例えば10分程度の時間がかかるため、臨床検査技師または医師がその間、検査の作業に専念しなければならない。そこで、診療時間や検査時間が長くなるという課題があった。

【0006】

本発明は、上述する課題を解決したもので、被検者のコントラスト感度を正確に測定することが可能で、且つ検査時間が短くて済むコントラスト感度測定装置、コントラスト感度測定方法を提供することを目的とする。

【0007】

【課題を解決するための手段】

前記目的を達成するために、本発明によるコントラスト感度測定装置は、例えば図1に示すように、コントラスト感度検査のためのコントラスト視標を呈示するコントラスト視標表示部100と、被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部100で表示させるコントラスト視標を決定するコントラスト視標データ決定部320と、コントラスト視標データ決定部320にて作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従ってコントラスト視標表示部100にコントラスト視標の呈示を行わせるコントラスト視標表示制御部330と、呈示されたコントラスト視標に対する前記被検眼者の応答履歴データを用いて、測定者のコントラスト測定結果を表示する表示部600とを備えている。

【0008】

このように構成された装置においては、コントラスト視標データ決定部320によって、被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部100で表示させるコントラスト視標を決定しているので、被検眼のコントラスト感度を迅速に測定できる。コントラスト視標表示制御部330によって、コントラスト視標データ決定部320にて作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従ってコントラスト視標表示部100にコントラスト視標の呈示を行わせるので、コントラスト視標の呈示作業が自動化でき、検査技師や眼科医師はコントラスト感度検査時に被検者に異常が発生しているか否かの診察に専念できる。表示部600は、呈示されたコントラスト視標に対する前記被検眼者の応答履歴データを用いて、測定者のコントラスト測定結果を表示するので、検査技師や眼科医師はコントラスト感度検査が正常に行われたか容易に判断できる。

【0009】

好ましくは、コントラスト視標データ決定部320は、被検眼の光学的特性データに加えて、さらに既に測定された被検眼者に対するコントラスト測定結果に基づき、コントラスト視標表示部100にて表示させるコントラスト視標を決定するように構成されていると、被検眼が平均的なコントラスト感度を有している場合の検査を円滑に行うことができる。そこで、被検眼に病変がある場合の検査に割く時間が、容易に確保される。

【0010】

好ましくは、コントラスト視標データ決定部320は、被検眼の光学的特性データに基づき、呈示するコントラスト視標の初期値、若しくは呈示するコントラスト視標の変化度合いの少なくとも一方を決定するように構成されていると、被検眼が平均的なコントラスト感度を有している場合の検査を円滑に行うことができる。

【0011】

好ましくは、表示部600は、被検眼の光学的特性データを反映させて、被検眼者に対するコントラスト測定結果を表示するように構成されていると、検査技師や眼科医師はコントラスト感度検査を用いて被検眼が平均的なコントラスト感度を有しているか、或いは病変が予想されるかを容易に判断できる。

【0012】

好ましくは、表示部600における被検眼の光学的特性データの反映には、被検眼者に対するコントラスト測定結果の正常と判断できる許容範囲を示すエリアの表示、前記被検眼者に対するコントラスト測定結果の非正常眼に相当する測定エリアの表示、又は前記被検

10

20

30

40

50

眼者に対するコントラスト測定結果が許容範囲から外れたことを表示することの少なくとも一つを行うように構成されているとよい。このように構成すると、検査技師や眼科医師はコントラスト感度検査が正常に行われたか容易に判断でき、再検査が必要な場合に、迅速に被検眼のコントラスト感度の再検査が行える。

【0013】

好ましくは、被検眼の光学的特性データは、波面センサで測定した被検眼の波面情報から、空間周波数特性 (Modulation Transfer Function) を、少なくともコントラスト視標表示部 100 にて表示される空間周波数を含む空間周波数領域について計算するように構成されていると、検査技師や眼科医師は空間周波数特性と被検眼者に対するコントラスト測定結果とを対比して、コントラスト感度検査が正常に行われたか容易に判断できる。

10

【0014】

前記目的を達成するために、本発明によるコントラスト感度測定方法は、例えば図4に示すように、被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部で表示させるコントラスト視標を決定し (S102 ~ S110)、コントラスト視標データ決定部で作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従って前記コントラスト視標表示部にコントラスト視標の呈示を行わせ (S114 ~ S120)、呈示されたコントラスト視標に対する前記被検眼者の応答履歴データを用いて、前記被検眼者に対するコントラスト測定結果を表示する (S122 ~ S124) 工程を有している。

【0015】**【発明の実施の形態】**

以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。なお、各図において互いに同一あるいは相当する部材には同一符号又は類似符号を付し、重複した説明は省略する。図1は本発明の第1の実施の形態を説明する構成ブロック図である。コントラスト視標表示部100は、コントラスト感度検査のためのコントラスト視標を呈示するもので、詳細は図2を用いて後で説明する。

20

【0016】

中央演算装置300は、例えばマウスのような被検者回答入力部310、コントラスト視標データ決定部320並びにコントラスト視標表示制御部330を有するもので、例えば高速のプロセッサを用いたコンピュータやサーバーが用いられる。コントラスト視標データ決定部320は、被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部100

30

【0017】

コントラスト視標表示制御部330は、コントラスト視標データ決定部320にて作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従ってコントラスト視標表示部100にコントラスト視標の呈示を行わせるもので、具体的には後で説明するように、テスト視標表示制御部120とペDESTAL視標表示制御部140に視標表示制御信号を送っている。

【0018】

波面センサ500は、被検者の眼球を構成する角膜や水晶体の収差を測定する。波面センサ500の主要な構成要素は、小レンズアレイと呼ばれる小さなレンズから成るアレイ、並びに、センサ要素から成るアレイを有するカメラである。この構成は、シャック/ハルトマン (Shack-Hartmann) の波面センサと呼ばれている。小レンズアレイは、光線の経路に置かれると、サブアパーチャ部分 (subapertured portion) と呼ばれる、光線の多数の要素部分を発生する。小レンズアレイの各々の小レンズは、全光線のサブアパーチャを処理する。小レンズアレイにおいては、一般的に、各々の小レンズは、方形の格子状に位置決めされているが、アレイ全体は方形でなくてもよく、通常は、円形光線の輪郭に概ね一致する多角形の形状である。上記カメラのセンサ要素は、通常、方形又は矩形の形状を有しており、また、通常は、小レンズの格子状の

40

50

パターンに平行になるように角度方向に整合された方形又は矩形の格子パターンとして配列されている。

【0019】

表示部600は、呈示されたコントラスト視標に対する被検眼者の応答履歴データを用いて、測定者のコントラスト測定結果を表示するもので、例えばCRTや液晶ディスプレイが用いられる。

【0020】

図2はコントラスト視標表示部の詳細を説明する構成ブロック図で、光学系と制御系を同一図面に表している。図において、コントラスト視標呈示部100は、第1照明光学系110、テスト視標表示制御部120、第2照明光学系130、ペDESTAL視標表示制御部140を備えている。また、図2には瞳孔データ測定部200、中央演算装置300並びに被検者の被検眼400を表示している。

10

【0021】

第1照明光学系110は、主としてテスト視標を形成するもので、光源111、コンデンサーレンズ112、視標交換用回転モータ113、視標板114、NDフィルタ115、倍率補正レンズ116、及び拡散板117を備えている。コンデンサーレンズ112は、光源111から照射された光を平行光束にする。視標板114には、コントラスト視標として、ガボール刺激のような空間周波数特性の測定に適するコントラスト感度用テスト視標や、各種の文字やランドルト環などが所定の大きさに印刷されている。コントラスト感度用視標では、空間周波数が3mの視距離で1.5、3、6、12、18 [cycles/deg]と

20

【0022】

ND (Neutral Density) フィルタ115は、60%透過や40%透過のように光量だけ変えるフィルタで、偏光等を行わない。倍率補正レンズ116は、無限遠(0ディオプター)や5メートル(0.2ディオプター)などの焦点距離を有するもので、倍率補正レンズ116を入れ替える調整をして、被検者にテスト視標を呈示している。拡散板117は、コンデンサーレンズ112から放射される光を拡散させて、光量分布を均一にしている。

【0023】

第2照明光学系130は、主としてペDESTAL視標のような背景を形成するもので、光源131、コンデンサーレンズ132、視標交換用回転モータ133、視標板134、NDフィルタ135、倍率補正レンズ136、及び拡散板137を備えている。第2照明光学系130は、概ね第1照明光学系110と同様の光学部品で構成されているが、視標板134に印刷されている視標が背景である点で相違している。コントラスト感度用視標では、所定の空間周波数であって所定のコントラストのテスト視標が印刷されているため、異なるテスト視標間でほぼ同じ明るさになるように背景の明るさが調整されるべく印刷されている。

30

【0024】

第1照明光学系110から送られるテスト視標と、第2照明光学系130から送られるペDESTAL視標は、ミラー151によって同一光路上に重畳され、第1ミラーとしての分光ミラー152を透過して、第2ミラーとしての凹面鏡153で反射され、再び分光ミラー152で反射されて被検者の前眼部401に送られる。ミラー151は、例えばハーフミラーでもよく、また光源111、131で必要とする光量に適合させて透過率と反射率の割合を定めてもよい。ミラー151の透過率と反射率の割合を適宜に定めることで、NDフィルタ115、135で恒常的に光を減衰させる場合に比較して、エネルギー効率が高まる。

40

【0025】

テスト視標表示制御部120は、視標交換用回転モータ113を駆動して視標板114を適切な位置で停止させ、被検者に適切なテスト視標を呈示できるように制御している。ペDESTAL視標表示制御部140は、視標交換用回転モータ133を駆動して視標板134

50

を適切な位置で停止させ、テスト視標に対応するコントラスト又は明るさのペDESTAL視標を被検者に呈示できるように制御している。テスト視標表示制御部120とペDESTAL視標表示制御部140は、コントラスト視標表示制御部330から送られる視標表示制御信号に従い、所定のコントラスト感度のテスト視標をコントラスト視標表示部100に呈示させている。

【0026】

瞳孔データ測定部200は、受光素子201、受光カメラレンズ系202、瞳孔測定演算部220を備えている。視標に関する光学系が可視波長を使用するので、瞳孔データ測定部200は近赤外光を使用してもよく、またテスト視標とは異なる波長の可視光を使用してもよい。受光素子201は例えば電荷結合素子(CCD: Charged-Coupled Device)のよ
10
うな平面的な画像を受信できる素子を用いる。受光カメラレンズ系202は受光素子201上に最適な倍率で瞳孔の像を投影できるように、倍率の調整をしている。受光素子201で受光される被検者の前眼部401の画像に含まれる瞳孔の像は、両眼と片眼の場合がある。瞳孔測定演算部220は、受光素子201の受光した前眼部401の画像を画像処理及び画像認識して、実時間で瞳孔径を出力する。なお、瞳孔データとしては、瞳孔領の直径に代えて、瞳孔領の面積を用いてもよい。

【0027】

中央演算装置300は、コントラスト視標呈示部100がコントラスト視標を被検者の前眼部401に呈示するタイミング、又は被検者の応答があったタイミングを基準として、瞳孔データ測定部200による被検者の瞳孔測定を行うタイミング信号を生成する測定タ
20
イミング形成部としての機能を備えている。さらに、中央演算装置300はコントラスト視標呈示部100が呈示するコントラストと視力情報、並びに瞳孔データ測定部200による被検者の瞳孔情報を結合して処理する機能も有する。被検者回答入力部としての被検者応答装置310は、被検者のコントラスト視標に対する応答を入力するもので、例えばマウスなどのI/O装置が用いられる。被検者応答装置310の出力信号は、中央演算装置300に入力される。

被検者の被検眼400は、解剖学的に公知のように、角膜等の前眼部401と水晶体402を有している。

【0028】

図3はコントラスト感度用視標を用いたコントラストの説明図で、(A)は被検者の前眼部に投影されるガボール刺激の平面図、(B)は(A)の平面図のB-B方向のコントラストチャート輝度プロファイルを示している。輝度プロファイルのピーク間隔dが空間周波数に対応している。また、コントラスト100%の場合には、ガボール刺激を用いたテスト視標 TM_{100} の輝度振幅が大きくなっているため、ペDESTAL視標 PM_{100} の輝度はガボール刺激の最低値0.08程度になっている。他方、コントラスト50%の場合には、ガボール刺激を用いたテスト視標 TM_{50} の輝度振幅がテスト視標 TM_{100} より小さくなっているため、ペDESTAL視標 PM_{50} の輝度はガボール刺激の最低値0.28程度になっている。
30

【0029】

即ち、ガボール刺激の平面図ではコントラストに応じてテスト視標の輝度振幅が相違するので、ガボール刺激の輝度振幅に応じた透過率のペDESTAL視標を選択して、コントラスト感度用視標の明るさが等しくなるようにする必要がある。そこで、中央演算装置300は、視標交換用回転モータ113、133を駆動して、視標板114、134を適切な組合せにする。なお、中央演算装置300によって、光源111、131の光量、若しくはNDフィルタ115、135の透過率を適宜調整することによって、コントラスト感度用視標の明るさを等しくしても良い。
40

【0030】

続いて、本発明に係る被検眼の光学的特性データを用いたコントラスト感度の測定について説明する。図4は被検眼の光学的特性データを用いたコントラスト感度測定を説明する流れ図である。コントラスト感度の測定が開始されると(S100)、検査技師や眼科医
50

師は、例えば波面センサ500を用いて被検眼の波面収差測定のような光学的特性データを測定する(S102)。次に、被検者の氏名と被検眼の左右の区別を中央演算装置300に入力する(S104)。

【0031】

そして、コントラスト視標データ決定部320は、波面センサ500の測定結果を用いて、空間周波数特性(MTF: Modulation Transfer Function)を計算する(S106)。次にコントラスト視標データ決定部320は、空間周波数特性MTFを用いて、被検眼のコントラスト感度を予測する(S108)。S106とS108の詳細は図10、図11を用いて後で説明する。次に、コントラスト視標データ決定部320は、予測された被検眼のコントラスト感度に対して、コントラスト感度が0.1デシベル高いコントラストを、各空間周波数におけるコントラスト感度の初期値として設定する(S110)。続いて、瞳孔データ測定部200等を用いて被検者が明るさに順応するまで一定時間、例えば1分間待つ(S112)。好ましくは、表示部600はバックグラウンドの輝度に対する、順応開始と終わりの合図を表示するように構成するとよい。

10

【0032】

次に、コントラスト視標表示制御部330により、空間周波数が3cpd([cycles/deg])のコントラスト輝度閾値を、例えば上下法を用いて測定する(S114)。上下法とは心理学的測定法の一つである。上下法の刺激呈示は、1試行においてコントラスト有視標とコントラスト無視標を並べて、一回呈示する強制選択法で、被検者はガボール刺激のある位置を答えるものである。一回のコントラスト感度用視標の呈示は、まずバックグラウンドを被検者に呈示し、次にガボール刺激を呈示し、被検者の応答を記憶する。そして、中央演算装置300は、測定終了までガボール刺激を被検者に呈示するものである。なお、上下法に代わる測定法として、極限法、調整法、恒常法、PEST、QUEST等がある。

20

【0033】

視標の呈示例を図5に示す。図5(A)は左側にコントラストの大きな視標を示し、右側にコントラスト無視標を並べてある。図5(B)は右側にコントラストの大きな視標を示し、左側にコントラスト無視標を並べてある。また、この測定の詳細な手順は、後で図7を用いて詳細に説明する。

【0034】

次に、コントラスト視標表示制御部330により、空間周波数が6cpdのコントラスト輝度閾値を、例えば上下法を用いて測定する(S116)。続いて、空間周波数が12cpdのコントラスト輝度閾値を、例えば上下法を用いて測定し(S118)、更に空間周波数が18cpdのコントラスト輝度閾値を、例えば上下法を用いて測定する(S120)。そして、それぞれの空間周波数における上下法の結果からコントラスト閾値を求め、そしてコントラスト閾値の逆数をとってコントラスト感度(CS)とする(S122)。次に、表示部600に4つの空間周波数における上下法での応答履歴と、コントラスト感度曲線を表示する(S124)。そして、表示部600に表示された結果を検査技師や眼科医師が見て、一見して異常のある空間周波数があるか判断し、必要ならS114~S120の何れかひとつの空間周波数について再度測定を繰返す(S126)。そして、被検者のコントラスト輝度閾値が求まれば、中央演算装置300によってコントラスト感度用視標の呈示条件や応答の適否等の結果がファイルに保存される(S128)。そして、当該被検者に対するコントラスト感度の測定が終了する(S130)。

30

40

【0035】

図6は図4の上下法によるコントラスト変化の一例を示す図で、縦軸にコントラスト、横軸に刺激回数をとってある。コントラスト100%(1とする)をスタート点にして、被検者が正解する毎に対数ステップで0.1刻みにて、刺激のコントラストを下げて行き、逆に不正解のときは4ステップ、刺激のコントラストを上げる。測定終了は、例えば不正解が上下それぞれ5回発生したときとする。この場合の被検者のコントラスト閾値は、例えば不正解となったコントラスト閾値の10回の平均値とし、例えば0.06(=10⁻¹)

50

・²)となる。コントラスト感度は、被検者について求めたコントラスト閾値の逆数となる。

【0036】

図7は、コントラスト輝度閾値の上下法による測定手順の一例を説明する流れ図である。まず、コントラスト視標表示制御部330により、所定の空間周波数のコントラスト輝度閾値を被検者に対して呈示する(S150)。この際に、瞳孔データ測定部200による被検者の瞳径測定を行っておくとよい。そして、被検者は呈示されたコントラスト感度用視標に対して応答を行う(S152)。コントラスト感度用視標の呈示が上下法の場合、上下法の刺激呈示が2者択一の強制選択法(2 alternative forced choice; 2 A F C法)であるため、被検者はガボール刺激のある位置を応答する。被検者の応答は、マウスのような被検者応答装置でもよく、また音声でも良い。検査技師又は中央演算装置300は、テスト視標表示制御部120でのテスト視標の呈示と被検者の応答を対比して、被検者の応答の適否を判断する(S154)。そして、中央演算装置300によってコントラスト感度用視標の呈示条件、応答の適否、被検者の瞳径等が記憶される(S156)。そして、検査技師又は中央演算装置300はテスト視標の呈示回数が終了基準、例えば図6の様に正答から誤答への切り換えと誤答から正答への切り換えが夫々5回、に到達したかを判断し(S158)、未了であればテスト視標の呈示条件を変更して(S160)、S150に戻る。

10

【0037】

テスト視標の呈示回数が終了基準値に到達していれば(S158)、戻しとする。このようにして、所定のコントラスト感度用視標の空間周波数、例えば3、6、12、18[cycles/deg]に対する検査が終了するまで繰返される。なお、一回のコントラスト感度用視標の呈示時間は、臨床的には例えば1~3秒間、特に好ましくは2秒間が適当である。また、上下法によるコントラスト測定で得られた結果を、コントラストレベルで5段階程度にまとめ直してから、統計解析手法の一つであるプロビット解析によって解析してもよい。プロビット解析により、コントラスト閾値の平均値s0と分散をを求めることができる。

20

【0038】

図8は異なる空間周波数のコントラスト感度用視標に対する被検者の応答履歴の一例を示す図で、(A)は3cpd([cycles/deg])、(B)は6cpd、(C)は12cpd、(D)は18cpdの縞模様の場合を示している。各空間周波数に対する被検者の応答履歴は、概ね図6のコントラスト測定と類似するパターンとなっている。

30

【0039】

図9はコントラスト感度と空間周波数の関係を示す図である。異なる空間周波数に対する被検者の応答履歴により、空間周波数毎のコントラスト閾値が求まる。そこで、中央演算装置300によってコントラスト閾値の逆数をとって、コントラスト感度を求める。一般に被検者のコントラスト感度は、空間周波数が3~6cpdで極大値をとり、空間周波数が10cpd以上に増加すると、徐々に低下する傾向がある。なお、コントラスト感度の空間周波数に対する標準パターンと比較して、一部の空間周波数に異常値のあるときは、被検者の瞳や視神経に病的な異常のある場合があるので、コントラスト感度測定は眼科検診として適している。

40

【0040】

図10は波面センサの測定値から空間周波数特性MTFを測定する手順の説明図である。まず、被検者の瞳に対する波面は、例えばシャックハルトマン式の波面センサ500で測定する(S200)。次に、波面センサ500で測定された波面 $W(x,y)$ は、次式(数1)により、瞳関数 $H(x,y)$ に変換される(S202)。このとき、波面 $W(x,y)$ は可視光の中心波長を単位として表されているとする。

【数1】

$$H(X, Y) = \exp(-2\pi i W(X, Y)) \quad \dots (1)$$

【 0 0 4 1 】

次に、コントラスト視標データ決定部 3 2 0 は、瞳関数 $H(x, y)$ を二次元フーリエ変換することによって、点像振幅分布 $ASF(x, y)$ を計算する (S 2 0 4)。

10

【 数 2 】

$$ASF(x, y) = FFT2(H(X, Y)) \quad \dots (2)$$

ここで、 ASF は amplitude spread function の略語である。続いて、コントラスト視標データ決定部 3 2 0 は、点像振幅分布 $ASF(x, y)$ を二乗することによって、点像強度関数 $PSF(x, y)$ を得る (S 2 0 6)。

【 数 3 】

20

$$PSF(x, y) = |ASF(x, y)|^2 \quad \dots (3)$$

ここで、 PSF は point spread function の略語である。コントラスト視標データ決定部 3 2 0 が、点像強度関数 $PSF(x, y)$ をフーリエ変換することにより、空間周波数特性 $MTF(x, y)$ を求めることができる (S 2 0 8)。

【 0 0 4 2 】

そして、波面センサ 5 0 0 等の測定値から被検眼の光学的特性データ、例えば空間周波数特性 MTF が既知であれば、視神経系の空間周波数特性 MTF が次式によって計算できる。

30

【 数 4 】

$$M_{lat}(u) = \frac{km_n M_{opt}(u)}{m_t} \quad \dots (4)$$

40

【 0 0 4 3 】

ここで、 M_{lat} は求めたい視神経系の空間周波数特性 MTF 、 M_{opt} は光学系の空間周波数特性 MTF 、 m_n は視神経系のノイズのコントラスト、 m_t は刺激のコントラスト、 $k (= s_0 / \sigma)$ はコントラスト閾値の平均値 s_0 を分散 σ で除したものである。コントラスト視標データ決定部 3 2 0 により数 4 が実行されて、視神経系の空間周波数特性 MTF が求められる。

【 0 0 4 4 】

図 1 1 は波面センサで測定した被検眼の波面情報から空間周波数特性 MTF を演算したものと、被検眼者に対するコントラスト測定結果とを対比する場合の説明図で、(A) は空間周波数特性 MTF 、(B) はコントラスト測定結果を示している。コントラスト視標デ

50

ータ決定部 320 は、波面センサ 500 で測定した被検眼の波面情報から空間周波数特性 MTF が得られたので、数 5 の関係からコントラスト感度 CS を求めることができる。さらにコントラスト視標データ決定部 320 は、視標の平均輝度を使って視標の最大輝度 I_{max} と視標の最小輝度 I_{min} を決めることができる。

【数 5】

$$MTF = \frac{1}{CS} = \frac{I_{Max} - I_{Min}}{I_{Max} + I_{Min}} \dots (5)$$

10

【0045】

このようにして、被検眼の波面情報からコントラスト感度測定のためのコントラスト感度用視標の初期値が求まる。さらに、被検眼の波面情報とコントラスト感度測定との対応関係をデータベース化してゆくことで、被検眼の波面情報からコントラスト感度の予測値が空間周波数毎に求まる。これに対して、中央演算装置から被検眼者に対するコントラスト測定結果を入手して、表示部 600 にて両者を対比して表示する。すると、検査技師や眼科医師は、図 11 に示すように、予測値と実測値との対比結果を参照して、被検眼のコントラスト感度測定から病変があるか否かの判断が容易に行える。

20

【0046】

なお、上記実施の形態においては、被検者の片眼毎にコントラスト感度を測定する場合を示したが、被検者の両眼を同時に測定して、両眼視の視機能を評価することも可能である。

【0047】

また、上記第 1 の実施の形態においては、第 1 照明光学系 110 からテスト視標を送り、第 2 照明光学系 130 からペDESTAL 視標を送る場合を示したが、視標板 114、134 を入れ替えることで、第 1 照明光学系 110 からペDESTAL 視標を送り、第 2 照明光学系 130 からテスト視標を送る構成としてもよい。また、視標板 114 を用いてペDESTAL 視標とテスト視標のコントラストを変更する構成を示したが、光源 131 と光源 111 の光量を変更させる構成や、ND フィルタ 135 と ND フィルタ 115 の透過率（濃度）を変更させる構成でもよい。

30

【0048】

さらに、眼科医院や運転免許試験場のような臨床現場では、コントラスト感度測定装置のような視機能検査装置は、目の光学系を測定する収差計や波面センサ 500 などと一緒に用いられる可能性が高い。コントラスト感度測定装置によりコントラスト感度を正確に測定することを容易にするばかりでなく、関連する他覚測定である収差計や波面センサ 500 の計測とをシステム化することは、臨床では非常に有効で画期的なことである。また、さらに、収差計または波面センサ 500 によっては屈折計（レフラクトメータ）または自動屈折計（オートレフラクトメータ）の機能を含んでいることがあり、このような収差計または波面センサ 500 と視機能検査装置とホロプターを組み合わせることは、さらに臨床現場の作業を容易にし、従来は測定できなかった細かい検査が現実的に可能になる。

40

【0049】

また、上記第 1 の実施の形態においては、コントラスト視標表示制御部 330 によってコントラスト感度用視標の空間周波数として 3、6、12、18 [cycles/deg] を用いる場合を説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、例えば被検眼の光学的特性データが収差の大きい状態を示しているときは、コントラスト視標データ決定部 320 によってコントラスト感度用視標の空間周波数を低周波数側に遷移させて、例えば 1、3、6、12 [cycles/deg] の測定に変更しても良い。

【0050】

50

【発明の効果】

以上のように、本発明のコントラスト感度測定装置によれば、コントラスト感度検査のためのコントラスト視標を呈示するコントラスト視標表示部と、被検眼の光学的特性データに応じて、コントラスト視標表示部で表示させるコントラスト視標を決定するコントラスト視標データ決定部と、コントラスト視標データ決定部にて作成されたコントラスト視標データに基づき、所定の手順に従ってコントラスト視標表示部にコントラスト視標の呈示を行わせるコントラスト視標表示制御部と、呈示されたコントラスト視標に対する前記被検眼者の応答履歴データを用いて、測定者のコントラスト測定結果を表示する表示部とを備えている構成としている。そこで、例えば波面のような被検眼の光学的特性データとコントラスト視標表示部をコントラスト視標データ決定部とコントラスト視標表示制御部を用いて有機的に結合することにより、例えば被検眼の光学的特性データからコントラスト感度測定の初期値を決めることができ、測定時間が短縮できる。

10

【0051】

また、請求項4に記載の本発明によれば、被検眼の光学的特性データは、波面センサで測定した被検眼の波面情報から、空間周波数特性 (Modulation Transfer Function) を、少なくとも前記コントラスト視標表示部にて表示される空間周波数を含む空間周波数領域について計算したものである構成とすると、検査技師や眼科医師は波面から計算した空間周波数特性 MTF を用いて、自覚検査から測定されたコントラスト感度検査と容易に比較できる。

【図面の簡単な説明】

20

【図1】 本発明の第1の実施の形態を説明する構成ブロック図である。

【図2】 コントラスト視標表示部の詳細を説明する構成ブロック図である。

【図3】 コントラスト感度用視標を用いたコントラストの説明図である。

【図4】 被検眼の光学的特性データを用いたコントラスト感度測定を説明する流れ図である。

【図5】 図4の上下法に用いる刺激呈示パターンの説明図である。

【図6】 図4の上下法によるコントラスト変化の一例を示す図である。

【図7】 コントラスト輝度閾値の上下法による測定手順の一例を説明する流れ図である。

【図8】 異なる空間周波数のコントラスト感度用視標に対する被検者の応答履歴の一例を示す図である。

30

【図9】 コントラスト感度と空間周波数の関係を示す図である。

【図10】 波面センサの測定値から空間周波数特性 MTF を測定する手順の説明図である。

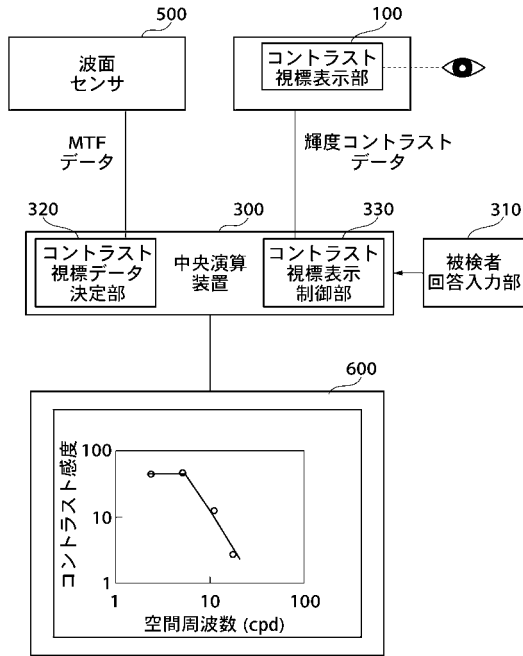
【図11】 波面センサで測定した被検眼の波面情報から空間周波数特性 MTF を演算したものと、被検眼者に対するコントラスト測定結果とを対比する場合の説明図である。

【符号の説明】

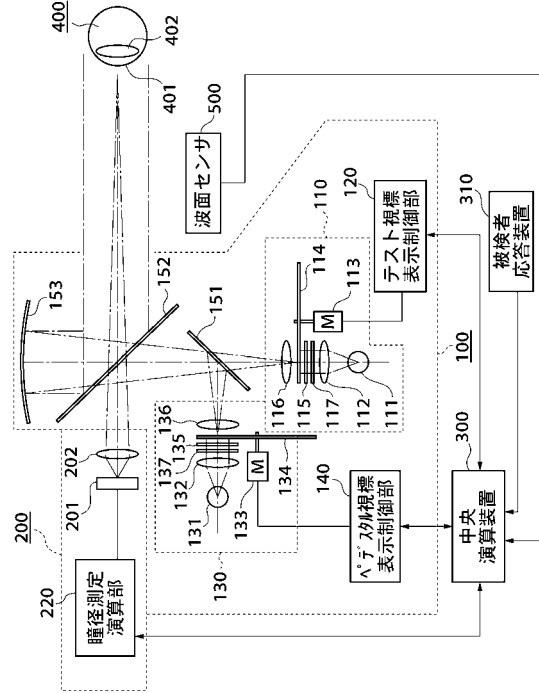
- 100 コントラスト視標呈示部
- 110 第1照明光学系
- 120 テスト視標表示制御部
- 130 第2照明光学系
- 140 ペDESTAL視標表示制御部
- 300 中央制御装置
- 320 コントラスト視標データ決定部
- 330 コントラスト視標表示制御部
- 400 被検眼
- 500 波面センサ
- 600 表示部

40

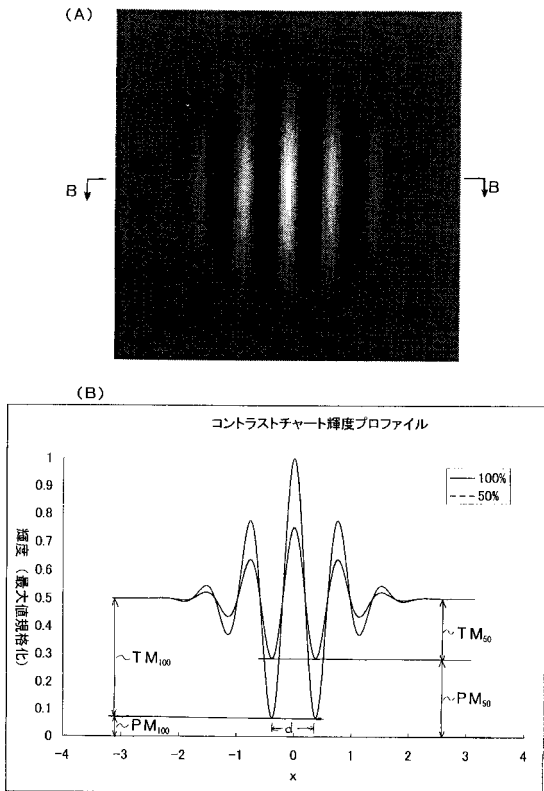
【 図 1 】



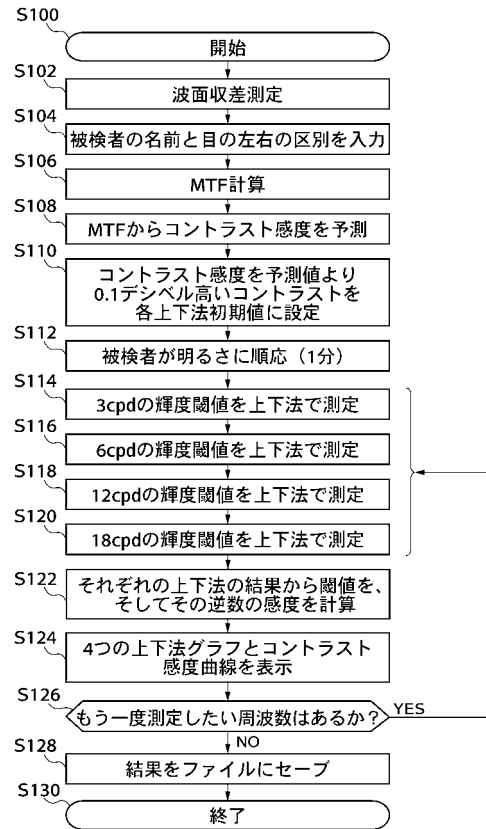
【 図 2 】



【 図 3 】

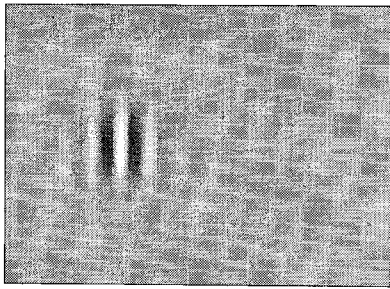


【 図 4 】

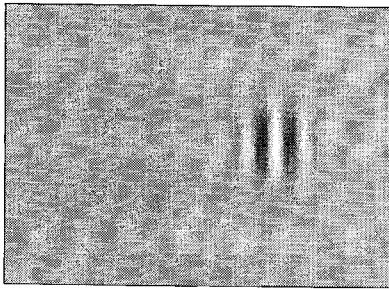


【 図 5 】

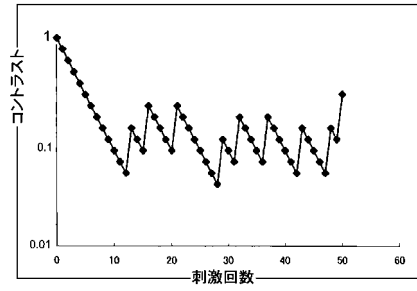
(A)



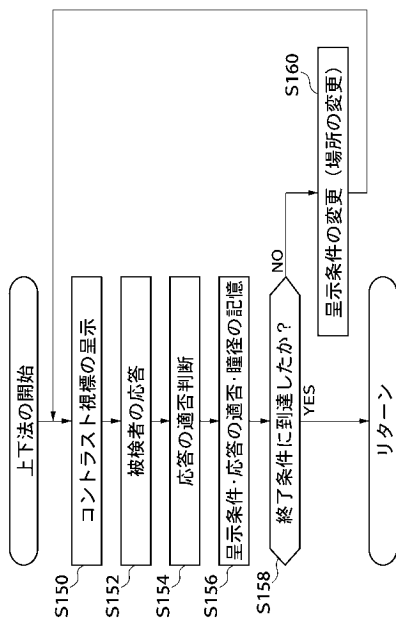
(B)



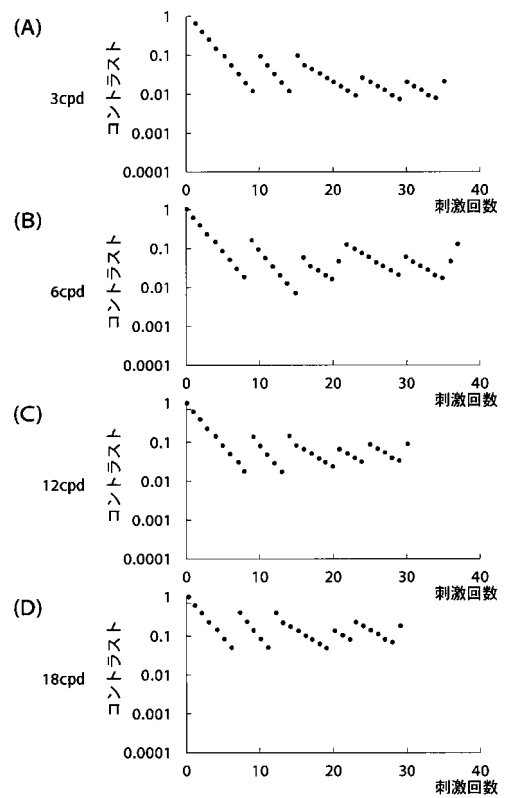
【 図 6 】



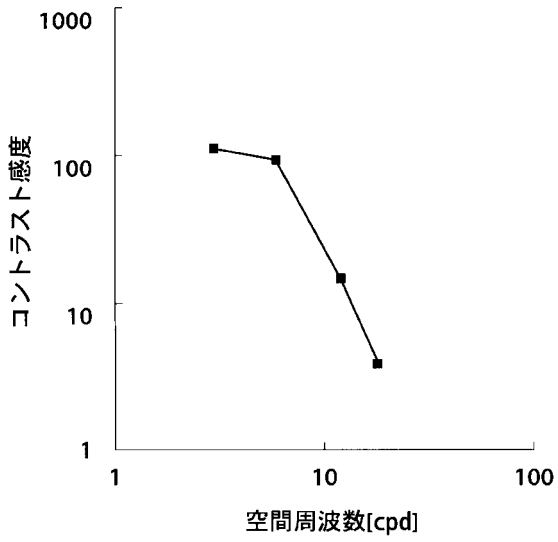
【 図 7 】



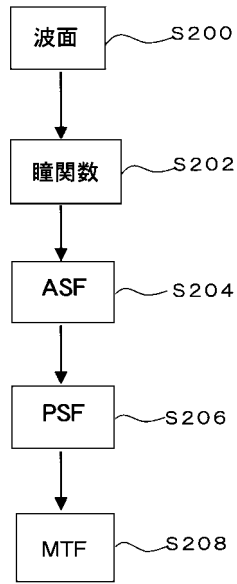
【 図 8 】



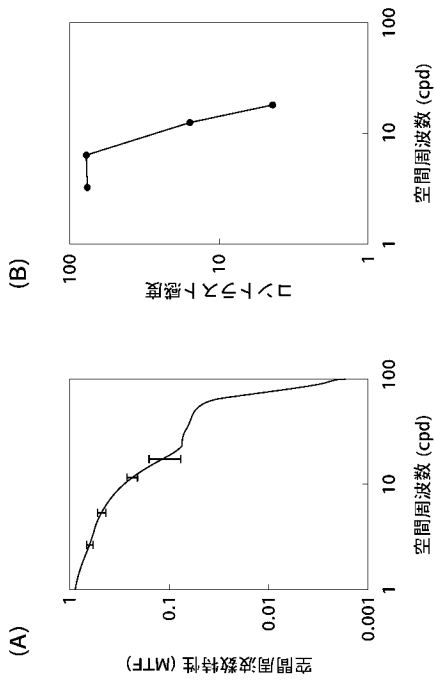
【 図 9 】



【 図 10 】



【 図 11 】



フロントページの続き

(72)発明者 三橋 俊文
東京都板橋区蓮沼町75番1号 株式会社トプコン内

審査官 安田 明央

(56)参考文献 特開平06-165754(JP,A)
特開平11-128168(JP,A)
特開平10-309264(JP,A)
特開2001-218738(JP,A)
特開平07-100107(JP,A)
特開2001-095760(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
A61B 3/00-3/16