

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：13501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K16961

研究課題名（和文）遠隔操作ロボットを利用した新規眼科診断システムの開発

研究課題名（英文）Development of new ophthalmic diagnostic system using a remote operating system

研究代表者

北村 一義 (KITAMURA, Kazuyoshi)

山梨大学・大学院総合研究部・助教

研究者番号：80535617

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：現在すでに作成している眼科遠隔診療ロボットを用い下記の点に関して研究を進めた。

- 1) 診断能力の検討：通常の細隙灯顕微鏡をコントロールとして眼科遠隔診療ロボットの診断能力を比較検討した。眼科診断の正確性、迅速性について正常対象者を用いて検討を行った。
- 2) 実用化へ向けての検討：眼科遠隔診療ロボットが学校検診に利用可能であるかの検討を行った。手持ち細隙灯顕微鏡をコントロールとして眼科遠隔診療ロボットの診断能力を比較検討した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本邦において、眼科医数の不足や眼科医の都市部への集中による偏在が問題となっており、患者の存在する現地に眼科医が存在しないケースが多いため眼科診療の最も重要な検査機器である細隙灯顕微鏡を遠隔地から操作できる眼科遠隔診療ロボットシステムを開発し、医療過疎、特に専門医医療過疎を解消し、社会福祉向上に貢献することが今回の研究の目的である。このシステムを利用することによって、医療過疎地域での診療が可能になることに加えて、専門医のいない地域からの各種疾患の専門医に対する患者相談も可能となることが期待できる。

研究成果の概要（英文）：We have conducted research on the following points using a remote operating slit lamp microscope system that has already been created.

- 1) Examination of diagnostic ability: We compared the diagnostic ability of a remote operating slit lamp microscope system with a conventional slit lamp microscope as a control. We examined the accuracy and speed of ophthalmic diagnosis in normal subjects.
- 2) Examination for practical use: We examined whether a remote operating slit lamp microscope system can be used for school screening. We compared the diagnostic ability of a remote operating slit lamp microscope system with a hand held slit lamp microscope as a control.

研究分野：眼科学

キーワード：眼科遠隔診療 医療過疎の改善

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

現在の医療の抱える最も重要な問題点は医療の高度化に伴う、高度専門医療の進歩と高齢化による患者人口の増大にある。高齢化によって眼科患者人口は急激に増加しているが、眼科医数の不足や眼科医の都市部への集中による眼科医の偏在も問題となっている。山梨県においては人口10万人あたりの眼科医院数が全国平均を下回っており、眼科医数が不足している状況である。眼科診療は専門性が高く、眼科医以外による診療は非常に困難であり、このような状況は眼科診療にとって大きな問題となっている。

眼科の遠隔医療についての研究はこれまで専門眼科医と一般眼科医の間において進められて来たが、実際は専門医不足、偏在のために、患者の存在する現地に眼科医が存在しないケースが非常に多い状況である。このような問題は、一般的には過疎地で見られやすいが、都市部においても、特に休日、夜間救急などでは認められる。その結果、十分な医療を受けられず重篤な視機能障害を残し、不幸な機転を辿るケースも少なくない。一方、現在の情報通信技術 (Information and Communication Technology, ICT) の進歩は長足であり、このような技術を用いることにより、医療格差を解消することが期待されている。

眼科診療に最も高頻度に用いられる細隙灯顕微鏡は、眼科診療情報に非常に有用な情報を診察医にもたすが、眼科医以外には細隙灯顕微鏡を用いた眼科診断は容易ではない。

このような状況を改善するために、我々はすでに、遠隔操作型細隙灯顕微鏡 (以下、眼科遠隔診療ロボット) の開発を行い初期の成果を挙げている。⁽¹⁾ - ⁽²⁾ 本システムはインターネットを介し細隙灯顕微鏡を操作し、遠隔地から眼科医による眼科診療を可能とするものである。(下図)

遠隔操作型細隙灯顕微鏡ユニット



a) 眼科医操作ユニット(枠内は操作スティック)

b) 遠隔型操作ロボット

これまでの遠隔医療の場合、医療現場には下級専門医が存在し、診察した映像を上級専門医に転送し指導を仰ぐシステムであった。この方法は専門医過疎地には適応が出来ないが、現在開発中のロボットでは、現場に眼科専門医がいなくとも専門医は遠隔地から操作することで、診療が可能となる点が大きな特徴である。

このようなシステムが実用化されると、下記のような多くの臨床応用が可能となる。

(1) 休日や夜間救急の一時対応において正確に所見を判断し診断することにより、疾病の重篤性を的確に判断し、2次救急、3次救急に迅速に患者を転送することが可能である。

(2) 眼科医が常駐していない診療機関において眼科診療を可能とする。

(3) 複数の専門医による遠隔診療会議。遠隔地の患者を複数の専門医がそれぞれ別の遠隔地から診断することで、より確実で的確な診断が可能となる。

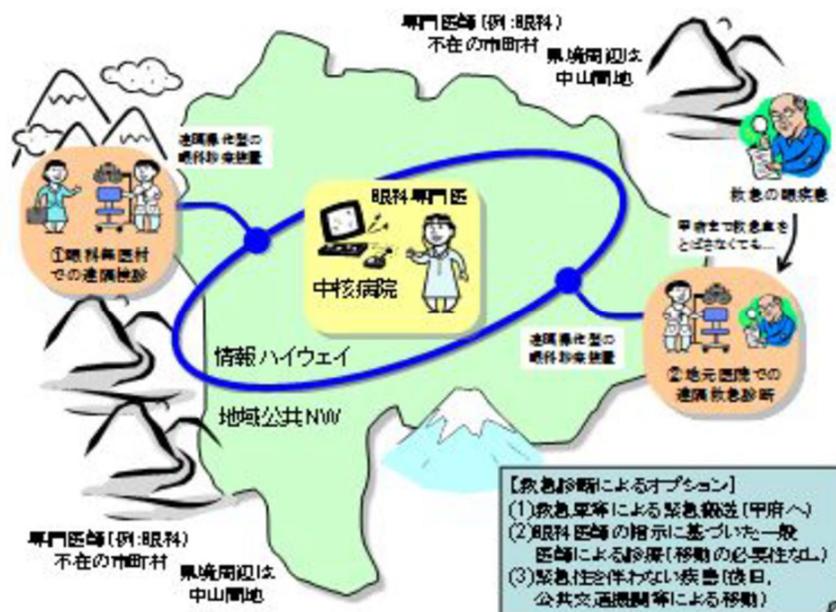
(4) 脱落患者の防止として、診療機関を受診することが不可能な患者に対し診察ユニットを運搬することにより、従来に比べより高度な診療を可能とする。

(5) 子育て休職中の女性医師などが短時間労働 (移動時間が少ないため) を行うことが可能なことにより、眠っている人材の活用ができる。

(6) 細隙灯顕微鏡画像をデジタル化するため、データを定量化することが可能であり、より正確な診療を行うことが可能になる。

以上が達成されることにより、高度高齢化社会において眼科診療はより高度でかつ利便性の高い診療を維持することが可能となる。

山梨県を例に取った活用例を下図に示す。



2. 研究の目的

眼科医数の不足や眼科医の都市部への集中による偏在が問題となっており、患者の存在する現地に眼科医が存在しないケースが非常に多い現状である。そのため眼科診療の最も重要な検査機器である細隙灯顕微鏡を遠隔地から操作できる眼科遠隔診療ロボットシステムを開発し、医療過疎、特に専門医医療過疎を解消し、社会福祉向上に貢献することが今回の目的である。

眼科遠隔診療ロボットを用いて1)診断能力の検討、2)遠隔診療の共有化システムの開発、3)通信環境による操作性の確認、4)得られた診療情報の定量化、5)眼底観察システムの追加などを行い、遠隔診療機器としてより効率的で有機的な装置への改良を行う。

3. 研究の方法

現在すでに作成している眼科遠隔診療ロボットを用いて下記の点に関して研究を進める。

(1)診断能力の検討：通常の細隙灯顕微鏡をコントロールとして眼科遠隔診療ロボットの診断能力を比較検討する。眼科診断の正確性、迅速性について正常対象者を用いて検討する。

(2)診療の共有化システムの開発：通常の対面診療を基準として、眼科遠隔診療ロボットを用いた場合の患者側の診療内容の理解と医師側の理解の一致性の検討を行い、眼科遠隔診療ロボットを用いた診療によって対面診療と同等な患者説明が可能であるかを検討する。

(3)通信環境による操作性の確認：通信帯域を最大の30Mbpsから減少させた際の操作性、診断能力を検証し、必要な帯域量を確定する。さらに帯域を減少させた際の診療レベルの低下を防止するための装置の開発を進める。

(4)得られた診療情報の定量化：本装置によってデジタル化された診療情報の解析によって病変部の定量化を行うシステムの開発を進めるとともに、これらのデータを電子カルテ内に取り込み可能とする。

(5)眼底観察：現有機では眼底の観察が困難であるため眼底観察が可能となるような装置の改良を進める。

以上の点を本期間中に検討し、眼科医が患者の対面で行なう診療に近い診療レベルを可能とし眼科医療過疎地の解消に役立つ機器の開発を行なう。

4. 研究成果

眼科遠隔診療ロボットを用いて下記の通り研究を進めた。

(1)診断能力の検討：すでに先行論文により、通常の細隙灯顕微鏡をコントロールとして眼科遠隔診療ロボットの診断能力が比較検討されており、遠隔診療ロボットの診断能力は通常の細隙灯顕微鏡と同等の診断能力があることが確認されている。^{(1)・(2)}今回の研究期間中においても同様に遠隔診療ロボットの診断能力が通常の細隙灯顕微鏡と同等の診断能力があることを再確認した。

(2)診療の共有化システムの開発：通常の対面診療を基準とした眼科遠隔診療ロボットを用いた場合の患者側の診療内容の理解と医師側の理解の一致性の検討を試みたが、倫理的な問題により実際の患者を対象とした検討は難しかったため今回は行わなかった。

(3)通信環境による操作性の確認：近年の目覚ましい通信環境の改善により、以前と比べて遅滞性が発生しづらく、診療を行う際に十分な通信環境が整ったため今回は検討を行わなかった。

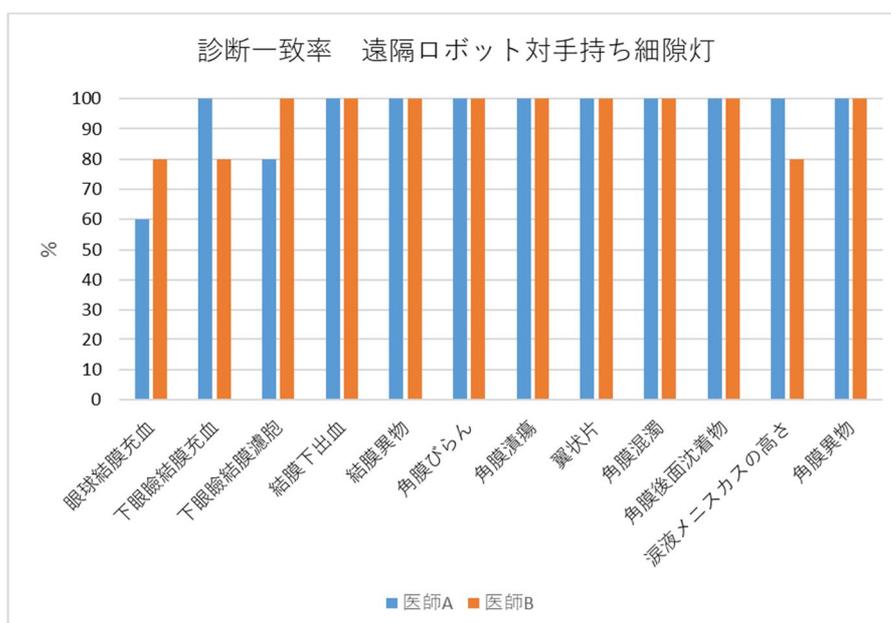
(4)得られた診療情報の定量化：本装置によってデジタル化された病変部の診療情報の保存は可能となったが、電子カルテ内への取り込みについてはシステムの準備が進まずに行うことができなかった。

(5)眼底観察：近年では眼底撮影を行う機器の軽量化が進んでおり、専用のアタッチメントを取り付けることによりスマートフォンでも眼底撮影を行うことが可能となってきた。⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾それらを併用することにより遠隔地からでも眼底所見の確認も可能となる。また装置の改良には高額のコストが掛かることが判明したため装置の改良は行わなかった。

(6)実用化へ向けての検討として、眼科遠隔診療ロボットが学校検診に利用可能であるかの検討を行った。現在、山梨県において眼科医過疎地域における眼科学校検診が大きな課題である。一部の地域においては11校の小中学校において約1000人の子供がいるにもかかわらず、眼科常勤医が1名もいない状況であり、山梨大学より眼科医師を各学校へ派遣して眼科学校検診を行っている状況である。学校保健安全法によると眼科学校検診においては外眼部疾患(感染性眼疾患を含む)及び眼位の評価が必要とされている。今回の研究においては、学校検診における検診項目である外眼部疾患として角膜及び結膜について、既報における評価項目⁽¹⁾⁻⁽²⁾を参考にして、下図の計12項目を評価項目とした。

大項目	小項目	
結膜	眼球結膜充血	なし:0、最も強い:3
	下眼瞼結膜充血	なし:0、最も強い:3
	下眼瞼結膜濾胞	なし:0、最も強い:3
	結膜下出血	あり:なし、ありの場合は性状(場所、形など)
	異物	あり:なし、ありの場合は性状(場所、色、形など)
	その他	コメント
角膜	角膜びらん	なし:0、最も強い:3
	角膜潰瘍	あり:なし、ありの場合は性状(場所、形など)
	翼状片	あり:なし、ありの場合は性状(場所、形など)
	角膜混濁	あり:なし、ありの場合は性状(場所、形など)
	角膜後面沈着物	あり:なし、ありの場合は性状(場所、色、形など)
	涙液メニスカスの高さ	なし:0、低い:1、普通:2、高い:3
	異物	あり:なし、ありの場合は性状(場所、色、形など)
	その他	コメント

正常対象者5名に対し、眼科専門医2名によって、通常の学校検診で用いる手持ち細隙灯顕微鏡をコントロールとして眼科遠隔診療ロボットとの診断一致性の検討を行った。結果は下記のグラフの通り、全ての評価項目において手持ち細隙灯顕微鏡と眼科遠隔診療ロボットで高い診断一致率を認め、眼科遠隔診療ロボットは手持ち細隙灯顕微鏡と同等の診断能力であることが確認できた。



学校検診において眼科遠隔診療ロボットを用いることのメリットとしては、医師が直接現地に赴くことなく検診が可能となることにより医師負担の軽減、医師生徒相互の感染リスクの軽減などがある。学校検診における実用化のためには加えて眼位の評価も行う必要がある。今後は視覚スクリーニング検査機器であるスポットビジョンスクリーナーなどの、現地で医師以外が検査可能な機器を用いて眼位異常のスクリーニングの併用を行うことで、実際の学校現場においての使用が可能であるか検討を進めていく。

近年国内外において、眼科遠隔診療は目覚ましい進歩をとげている。⁽³⁾⁻⁽⁶⁾本邦のような先進国のみならず、発展途上国においてもスマートフォンの普及が急速に進んでおり、国内外においてもスマートフォンを利用した遠隔診療の検討が多く報告されている。⁽⁷⁾⁻⁽⁹⁾スマートフォンに専用のアタッチメントを取り付けることにより、前眼部及び眼底の写真の撮影が可能となり、それらのデータを転送することにより遠隔地からの眼科専門医による診断が可能となる。2010年のWHOの報告では、世界の失明原因の約50%は白内障であり、適切な診断と治療で失明を予防する加療が可能な疾患と言われている。スマートフォンやタブレット端末などは携帯性に優れるため、特に発展途上国などの眼科医過疎地域において十分な眼科医療を受けることができず失明など不幸な経過となる患者を現地で診察し、治療可能な都市部の医療機関への受診を推奨することが可能となる。今回我々が検討した眼科遠隔診療ロボットは、これらのツールとは異なり遠隔地への運搬は簡単ではない。今後は、装置全体の軽量化を進めると同時に、汎用性を高めるための改良を行っていく予定である。

さらに眼科医のいない診療機関での眼科診療への実用化へ向けて、得られた診療情報の電子カルテへの取り込み、操作性の向上、汎用性を高めるための改良を進めていく。また、遠隔地の患者に対する大学病院の専門医による眼科診療として、山梨県内の眼科クリニックから患者が大学病院へ受診することなく各種の眼科専門医に診療を受けることが可能となるよう、山梨県内の眼科クリニックの医師との連携調整を進めていく。

引用文献

Tanabe N, Go K, Sakurada Y, Imasawa M, Mabuchi F, Chiba T, Abe K, Kashiwagi K. A remote operating slit lamp microscope system. Development and its utility in ophthalmologic examinations. *Methods Inf Med*. 2011. 50(5):427-34.

Kashiwagi K, Tanabe N, Go K, Imasawa M, Mabuchi F, Chiba T, Sugiyama A, Abe K. Comparison of a remote operating slit-lamp microscope system with a conventional slit-lamp microscope system for examination of trabeculectomy eyes. *J Glaucoma*. 2013. 22(4):278-83.

Maa AY, Wojciechowski B, Hunt KJ, Dismuke C, Shyu J, Janjua R, Lu X, Medert CM, Lynch MG. Early Experience with Technology-Based Eye Care Services (TECS): A Novel Ophthalmologic Telemedicine Initiative. *Ophthalmology*. 2017. 124(4):539-546.

Maa AY, Wojciechowski B, Hunt K, Dismuke C, Janjua R, Lynch MG. Remote eye care screening for rural veterans with Technology-based Eye Care Services: a quality improvement project. *Rural Remote Health*. 2017. 17(1):4045.

Maa AY, Medert CM, Lu X, Janjua R, Howell AV, Hunt KJ, McCord S, Giangiacomo A, Lynch MG. Diagnostic Accuracy of Technology-based Eye Care Services: The Technology-based Eye Care Services Compare Trial Part I. *Ophthalmology*. 2020. 127(1):38-44.

Maa AY, McCord S, Lu X, Janjua R, Howell AV, Hunt KJ, Medert CM, Giangiacomo A, Lynch MG. The Impact of OCT on Diagnostic Accuracy of the Technology-Based Eye Care Services Protocol: Part II of the Technology-Based Eye Care Services Compare Trial. *Ophthalmology*. 2020. 127(4):544-549.

Shimizu E, Ogawa Y, Yazu H, Aketa N, Yang F, Yamane M, Sato Y, Kawakami Y, Tsubota K. "Smart Eye Camera": An Innovative Technique to Evaluate Tear Film Breakup Time in a Murine Dry Eye Disease Model. *PLoS One*. 2019. 9;14(5):e0215130.

Mohammadpour M, Heidari Z, Mirghorbani M, Hashemi H. Smartphones, Tele-Ophthalmology, and VISION 2020. *Int J Ophthalmol*. 2017. 18;10(12):1909-1918.

Das AV, Mididoddi S, Kammari P, Deepthi Davara N, Loomba A, Khanna R, Taneja M. App-Based Tele Ophthalmology: A Novel Method of Rural Eye Care Delivery Connecting Tertiary Eye Care Center and Vision Centers in India. *Int J Telemed Appl*. 2019. 18;2019:8107064.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Kitamura Kazuyoshi, Chiba Tatsuya, Mabuchi Fumihiko, Ishijima Kiyotaka, Omoto Shu, Kashiwagi Fumiko, Godo Takashi, Kogure Satoshi, Goto Teruhiko, Shibuya Takashi, Tanabe Jhoji, Tsukahara Shigeo, Tsuchiya Tadaharu, Tsumura Toyoaki, Tokunaga Takaharu, Hosaka Osamu, Saito Tetsunori, Kashiwagi Kenji	4. 巻 2018
2. 論文標題 Efficacy and Safety of Switching Prostaglandin Analog Monotherapy to Tafluprost/Timolol Fixed-Combination Therapy	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Ophthalmology	6. 最初と最後の頁 1~9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2018/8456764	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sakamoto Masako, Kitamura Kazuyoshi, Kashiwagi Kenji	4. 巻 2017
2. 論文標題 Changes in Glaucoma Medication during the Past Eight Years and Future Directions in Japan Based on an Insurance Medical Claim Database	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Ophthalmology	6. 最初と最後の頁 1~6
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1155/2017/7642049	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 0件／うち国際学会 4件）

1. 発表者名 北村一義、柏木賢治
2. 発表標題 iStent手術の中長期成績の検討
3. 学会等名 第73回日本臨床眼科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kitamura K, Kashiwagi K
2. 発表標題 Long-term evaluation of Trabectome surgery performed on Japanese patients
3. 学会等名 SOE2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 北村一義、柏木賢治
2. 発表標題 Trabectome手術の中長期成績の検討
3. 学会等名 第123回日本眼科学会総会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kitamura K, Chiba T, Tanabe J, Kashiwagi K
2. 発表標題 Relationship between anterior chamber depth and other ophthalmic biometrical ocular factors either at the central and the peripheral anterior chamber portions among Japanese residents
3. 学会等名 The 13th EGS (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村一義、地場達也、田辺譲二、柏木賢治
2. 発表標題 健常人における中心及び周辺前房深度と眼関連因子の検討
3. 学会等名 第122回日本眼科学会総会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 北村一義、地場達也、田辺譲二、柏木賢治
2. 発表標題 第121回日本眼科学会総会 学術展示優秀賞受賞演題 眼科住民検診受診者における周辺前房深度の11年間の変化
3. 学会等名 第71回日本臨床眼科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kitamura K, Chiba T, Tanabe J, Kashiwagi K
2. 発表標題 Eleven-year change of anterior chamber configuration among health examination subjects
3. 学会等名 World Glaucoma Congress (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kitamura K, Chiba T, Tanabe J, Kashiwagi K.
2. 発表標題 Eleven-year change of anterior chamber configuration among health examination subjects
3. 学会等名 The Association for Research in Vision and Ophthalmology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 北村一義、地場達也、田辺譲二、柏木賢治
2. 発表標題 眼科住民検診受診者における周辺前房深度の11年間の变化
3. 学会等名 第121回日本眼科学会総会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------	---------------------------	-----------------------	----