



遠隔触診システムの研究 (第 1 報)

～遠隔診療の調査と医師ヒアリングまとめ～

神島 海音¹⁾, 加藤 史洋^{1),2)}, 半田 匠¹⁾, 岩田 浩康^{1),2)}

Kaito KAMISHIMA, Fumihiko KATO, Takumi HANDA, and Yasuhiro IWATA

1) 早稲田大学 創造理工学部 (〒162-0056 東京都新宿区若松町 2-2, kamesan.tokotoko@asagi.waseda.jp)

2) 東京大学 先端科学技術研究センター

概要: 本報告では遠隔診療の現状を俯瞰するため、医療、バーチャルリアリティ、ロボット分野の関連研究を調べた。また、臨床の医師のヒアリングを経て、遠隔触診システムに求められる要求仕様をまとめた。遠隔診療ではビデオ通話による問診が行われているが、触診ができないために症状の見逃しリスクがある。患者の近くにいる看護師が患部を触れ遠隔の専門医と共有することによるシナリオが現実的な解の一つであることを考察した。

キーワード: テレプレゼンス、遠隔診療、触覚

1. はじめに

近年、COVID-19 の世界的な流行により、遠隔診療への注目が高まっている。高速大容量な通信技術が普及しつつあり、遠隔診療が広がるために必要な技術的ハードルは低下傾向にある。対面診療と遜色ない遠隔診療が可能となる基盤が準備されつつある。しかし、これは問診や一部の視診に限った話であり、その他の診察である触診や打診、聴診についての議論はされてなかった。遠隔診療において対面診療と同等の精度の診断をするためには手軽に触診、打診、聴診可能なシステムが必要だと考えられる。これらの診察は患者の病態に応じて使い分ける必要があり、本報告ではひとまず触診について検討する。

触診を遠隔診療でおこなうためには患部の状態をセンシングし、医師にフィードバックする必要がある。フィードバックする情報の候補として定量的な値や触覚情報があげられる。前者は客観性の高い情報でバイタル(体温や血圧)の取得に限定され、患部の硬さや表面の状態などを定量的な数値として捉える試みが実用化されていない。また、後者は医師の経験が支配的であり、患部の状態を把握するために必要な触覚提示について検討する必要がある。前者より後者的の方が情報提示として直感的な理解が可能であることから遠隔地で触診した情報を定量的な数値として取得し、直感的な理解が可能な提示グローブの開発が必要だと考えた。

触覚をテレプレゼンスする様々な取り組みがあるが、触診について運用している例はない。触診が可能でセンシングとその提示をするための要求機能を整理する必要

があり、また遠隔で触診が実現できるシステムがどうあるべきか医師の意見を参考にすべきである。そこで医師 3 人に対してヒアリング調査を行い、遠隔診療に対してどのように考えているか、また触診が遠隔でおこなえることについての意見をいただいた。

本報告では遠隔で触診が可能でセンシングとその提示グローブの要求機能を整理するために、これまでの遠隔診療事例や触覚提示に関する研究を分析し、医師とのヒアリングした結果から新たな遠隔診療の要求機能の検討をする。また、その提示グローブの活用シナリオを検討した。

2. 遠隔診療と触覚提示の関連研究

2.1 遠隔診療の取り組み

遠隔診療に関する取り組みは我が日本国でも 10 年以上前から行われている。例えば奥多摩町ではコミュニティ型遠隔医療実験として“奥多摩プロジェクト”と呼ばれる遠隔診療を用いた生活習慣病を改善する試み[1]があった。急性期脳梗塞に対する t-PA 療法は一部の医療機関でしか享受できないが、遠隔診療システムを用いた解決[2][3]が試みられている。眼科では各地で遠隔診療[4][5]が利用されており、一定の有効性が示されている。人工内耳のマッピングを遠隔診療で行う取り組み[6]や、摂食嚥下障害患者への遠隔での摂食嚥下リハビリテーションや食事指導[7]なども取り組まれており、幅広い診療科で遠隔診療が行われていることが伺える。また在宅医療 [8][9]では遠隔モニタリングを活用したシステムの検討が行われてい

る。遠隔診療のリスクアセスメント[10]についても議論されはじめており、遠隔診療の担う役割は拡大傾向にある。

離島や僻地などの慢性的な医師不足である地域では医療の地域格差を解消するための現状調査[11][12]が行われる一方、遠隔診療はテレビ電話による問診や視診を主体としたものが多く、診療における自由度は限定的であるため、対面と同様の物理インタラクションを伴う診察をすることは困難である。

2.2 医療におけるXRなどの活用

近年医療の現場ではXRによるテレグジスタンスを用いた遠隔医療やトレーニング[13]が行われている。例えば幻肢痛に対するVR治療[14]や低侵襲な外科手術における力提示の事例[15]などがある。加えて、半側空間無視に対するVR機器を用いたリハビリテーションの提案[16]がされている。また、医師の判断を手助けする技術開発も進められており、手術のナビゲーション[17][18]や人工知能を活用した診断補助への活用法[19]などが検討されている。遠隔診療は対面診療と比べて医師の得られる情報が限られている。この限られたモダリティでの提示に、人工知能を活用して情報を支援するシステムが求められる。

2.3 テレグジスタンスロボットを用いた遠隔診療

遠隔地の患者の生体情報を医師にフィードバックすることは臨場感のある遠隔診療を可能とする要素の1つである。遠隔地に自分の分身となるロボットを配置し、制御するテレグジスタンスの技術は、遠隔診療に活用しうる。TELESAR VI [20]では触診での活用例が提案されている。

また、別の6自由度の頭部型ロボットを用いた問診を行う提案[21]がある。医師はHMDに表示されるカメラ映像から患者の様子を観察し、患者の指先の脈拍や手首の体温が再現された触覚提示デバイスに触れて触診が可能である。結果として従来のビデオ通話のみの遠隔診療より、医師は患者の存在をより強く感じる傾向があった。しかし、カルテを書きにくいことや患者に対して手首以外の部位の触診をしたいなどの要望があった。正確な診断のためには医師が対面診療で行う触診に則ったセンシングとその再現が課題である。一方で患者は診察において「医師に診てもらっている」という安心感を得ているという意見もあり、安心感をどのように創出するかが課題となる。

2.4 触覚と医学応用

遠隔触診の実現には、医師と患者が互いに存在を感じるだけでなく、触覚にも焦点を当てる必要がある。医師が遠隔の患者に触れたかのように感じられることが求められ、触覚伝送のシステムの検討が必要である。舘らの提案する触原色原理[22]の活用が考えられる。触原色原理は光の三原色のように、物体に触れた情報をセンサで分解して、伝送し、再構成して提示すれば元の材質感を再構成できるとする理論である。触原色原理では振動、温度、力が原色に対応する。

遠隔触診では、身体部位の触覚特徴を取得することが求められる。柔らかさの計測法として押下動作映像から推定

する手法[23]や、SOFTGRAM[24]などの接触センサを用いる手法がある。医療向けの触覚計測としては、心筋硬さの計測センサ[25]や前立腺の硬さや形状を評価のためのセンサ[26]などが開発されている。またMEMS技術を活用する動き[27]もみられ、皮膚の性状の計測を試みる例もある。

触覚提示には様々な手法[28~32]が存在している。その1つに触原色原理に基づいた触覚提示デバイス[30]がある。表面が滑らかで硬い材質の再現に対する評価は高い一方、柔らかい材質などの提示には改善の余地がある。また外科手術のシミュレーションではファントムを用いた触覚提示手法が数多く提案[31]されている。これらの提示デバイスは触診用に設計されたものではなく、触診用の提示の要求機能を満たしていない可能性があり、触診向けに必要な要求を調べる必要がある。

2.5 触診の機械工学的アプローチ

触診をロボットで実現しようという試みは古くから行われている。WAPRO-4[33]は乳がんの腫瘍を判別する触診ロボットで、1988年に開発された。医師の触診結果に対して十分な正確性を示すことはできず、実用化には至っていない。現在乳がんの検査ではX線を用いたマンモグラフィーによる検査が主流であり、触診ロボットによる検査手法は発展途上である。エコー検査のプロブを自動で患者に押し付ける提案[34]がなされている。しかし、プロブを安全に押し付ける制御法の検討にとどまっている。生体の硬さを定量的に評価する試みとして、対象物に指を「押し込む」という動作に即した硬さ計測手法が提案[35]されている。ロボットアームを用いた触診動作による人体の形状認識手法の提案[36]もなされている。

一方、医療教育の現場では、頭頸部に対する触診訓練システムが提案[37][38]されている。医学的な経験の保存、共有、提示を目指している。

3. ヒアリング調査の結果と遠隔触診の要求仕様

3.1 ヒアリング調査の結果

遠隔での触診を可能とするための触覚提示システムの要求機能を検討すべく、3人の医師に対してヒアリング調査を行った。a) 消化器内科、b) がんの在宅治療、c) 皮膚科を専門とする医師に協力をいただいた。ヒアリング項目は現状の遠隔診療に対する考えと、触診を普段の診療ではどのように行っているかなどである。

遠隔診療について共通していた認識は診療報酬の安さについてである。対面診療と比べて遠隔診療は約25%医療点数が低い。医師にとってはテレビ通話のみの遠隔診療は気軽である一方、ラーニングコストの回収など病院の経営に適していないため積極的に活用していない。また、経過観察といったいわゆる「5分診療」などについては既存の遠隔診療システムで十分だという認識であった。しかし患部の状態を詳細に知りたいという意見もあった。一般的な初診における病気の診断では、最初に問診や視診によって病気の絞り込みを行う。その際、診断を確定するために必

要な検査を適宜行う必要がある。現状の遠隔診療で可能なのは問診や簡易的な視診のみであり、病気を診断するには情報が少ないという指摘を受けた。

また、普段の診療ではどのような状況で触診を行っているかについて聞いたところ、消化器内科において大半はエコー検査でどの部位を検査する部位のあたりを付けるためであった。腹膜炎やSMAシンドロームなどの一部の病気では硬さを触診によって診ており、エコー検査では判断のつかない病状があると指摘があった。また、触診時の患者の反応、痛みを感じる様子にも注目し、疾患の原因となる臓器の特定をしていた。一方、医師 b) は普段の診療で触診を行う機会が少ないと言っていた。また、医師 c) は患部の状態を把握するために触診を行っている。硬さを弾性軟、弾性硬、骨性硬、骨性軟の4段階で評価して記載している。患部の可動性や熱感がないかを診察している。このように専門科によって触診の必要性や重要性が異なることが判明した。

触診に際して硬さを判断する基準は経験的なものであり、定量的な評価は難しい。経験の蓄積された医師は触診によって得る情報が多い一方、研修医などの経験の少ない医師にとって触診から診断することが難しい。触覚を共有できるグローブがあることでどのようなことが可能であるかを議論したところ、i) 自身の専門ではない病気の兆候がみられた際に専門とする別の医師に共有することが考えられるという意見をいただいた。また、ii) 救急車内で救命救急士が患者に対して触診センシングをし、その情報を受け入れ先の医師に提示することで円滑な受け入れ態勢を整えられるという指摘もあった。iii) 医療教育の一環として医学生に患部の状態を提示、再現するといった活用は可能ではないかという提案も得られた。

触診の経験が蓄積された医師と比べて、近年はエコーなどの検査機器が発達したために、触診の経験が乏しい若手医師もいる。「神の手」と呼ばれるような触診技術をもつ医師の感覚を定量的に評価することは医学的な意義がある。「神の手」のような触診計測と解析が可能となれば、経験の浅い医師にも病気の診断が容易になると考えられる。実現には、a) 患部に適切に触れること、b) 患部の触診から必要な情報を得ること、c) 触情報の解析が必要と考えられる。a) は可能なロボット制御システムを開発する困難が、c) は十分な測定データとその解析を実現する知能が必要であり、実現のハードルが高い。Doctor to Patient with Nurse という遠隔地に患者と看護師がいて医師が遠隔診療をおこなうという医療体制がある。a) は患者のそばにいる看護師が、c) は遠隔の専門医が担うことにすれば、b) を実現可能な触診グローブを開発することで実現が早められるのではないかと考えた。

3.2 遠隔触診のシナリオの検討

前節で述べた D to P with N による遠隔触診の構成に対してシステム要求を検討する。遠隔診療の際、医師が共通して患者に行いたいことは問診と視診である。医師が診た

い患部を覗き込める必要がある。診療科によっては触診が必要で、看護師が患者を触診して得た触覚を専門の医師と共有するシステムが必要である。

4. まとめ

本報告では遠隔において触診が可能である遠隔診療システムをどのように構築していくべきかを検討した。これまでの遠隔診療の取り組みや触覚提示の研究について調査し、遠隔診療や触診に対するヒアリング調査の結果をまとめた。また、遠隔で触覚を共有することが医療の分野において大きく貢献するポテンシャルを秘めていることや、その技術的な課題を整理した。遠隔触診をするためシナリオについて考察し、まとめた。今後、触診用の触感を共有するデバイスの開発を行い、その評価試験をしたいと考えている。

参考文献

- [1] 井上大輔, 光定誠, 栗原毅 et al. : 奥多摩山間地域での遠隔医療の試みー コミュニティ型遠隔医療システムの島しょ医療への応用を考える ー, 島しょ医療研究会誌, Vol. 2, No. 2, pp.45-50, 2021.
- [2] 長谷川泰弘: ビデオ会議システムを利用した遠隔医療の試み: telestroke の基礎と実際, 第38回日本脳卒中学会講演, 脳卒中, Vol. 36, No. 3, pp. 206-209, 2014.
- [3] 井口保之, 木村和美, 立石洋平 et al. : テレビ電話機能付き携帯端末を用いた遠隔診療支援システム (stroke mobile telemedicine: SMT) の臨床応用, 脳卒中 33:1-8, 2011.
- [4] 郷健太郎, 柏木賢治:眼科遠隔診療システムの開発と運用, 情報処理, Vol. 50, No. 8, pp.782-788, 2009.
- [5] 山口亨, 石子智士, 守屋潔 et al. : 地方病院における眼科遠隔衣装システムの有用性, 日本遠隔医療学会雑誌, Vol. 10, No. 2, pp.149-151, 2014.
- [6] 高野賢一: 新たな遠隔難聴医療をめざして, 日本耳鼻咽喉科学会会報, Vol. 124, No. 3, pp.187-191, 2021.
- [7] 古屋裕康, 菊谷武, 田中公美 et al. : COVID-19 蔓延下における摂食嚥下障害患者へのオンライン診療の取り組み, 老年歯科医学, Vol. 35, No. 4, pp.266-273, 2021.
- [8] 長谷川高志: 呼吸ケアと遠隔医療ー現状と課題ー我が国に於ける遠隔医療の歩みー, 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌, Vol. 29, No. 3, pp.407-411, 2021.
- [9] 中村昭則: 高度在宅医療機器 (人工呼吸器) の遠隔モニタリング, 日本呼吸ケア・リハビリテーション学会誌, Vol. 29, No. 3, pp.412-415, 2021.
- [10] 藤田健治, 青木利晃: 遠隔診療におけるリスクアセスメント手法の提案, EMB, Vol. 2015-EMB-38, No. 5, pp.1-8, 2015.

- [11] 松口一道, 山口純子:離島における婦人科内視鏡手術の現状, 日本産科婦人科内視鏡学会雑誌, Vol. 37, No. 1, pp.69-75, 2021.
- [12] 田中宏和, 林敬二, 香西亜優美 et al.:離島からの緊急母体搬送の現状と問題点, 日本産科婦人科内視鏡学会雑誌, Vol. 57, No. 1, pp.49-54, 2021.
- [13] 杉本真樹, 谷口直嗣, 新城健一: XR(VR・AR・MR) によるテレグジスタンス・超臨場感コミュニケーションと遠隔医療・手術シミュレーション・トレーニング, バイオメカニズム学会誌, Vol. 43, No. 1, pp.35-40, 2019.
- [14] 住谷瑞穂, 大住倫弘, 住谷昌: 仮想世界と臨床現場の融合ーVR/AR/MR の活用, 効果と課題ー, 計測と制御, Vol. 59, No. 1, pp.7-11, 2020.
- [15] 川嶋健嗣:低侵襲な外科手術を支援するロボットにおける力覚センシング, 日本ロボット学会誌, Vol. 37, No. 5, pp.405-408, 2019.
- [16] 安田 和弘, 岩田 浩康: 没入型バーチャルリアリティによる半側空間無視に対するリハビリテーション支援機器の開発, 計測と制御, Vol. 59, No. 1, pp.33-36, 2020.
- [17] Y. Muragaki, H. Iseki, T. Maruyama, T. Kawamata et al. : Usefulness of intraoperative magnetic resonance imaging for glioma surgery, *Acta Neurochirurgica Supplementum*, Vol. 98, pp.67-75, 2006
- [18] Yoshihiro Muragaki, Hiroshi Iseki, Takashi Maruyama et al. :Information-Guided Surgical Management of Gliomas Using Low-Field-Strength Intraoperative MRI, *Acta Neurochirurgica Supplementum*, Vol. 109, pp.67-72, 2011.
- [19] 平澤俊明, 由雄敏之, 多田智裕: 上部消化管腫瘍の内視鏡診断・治療 Up to date, 日本消化器病学会雑誌, Vol. 117, No. 2, pp.105-116, 2020.
- [20] Susumu Tachi, Yasuyuki Inoue, Fumihito Kato : TELESAR:Telexistence Surrogate Anthropomorphic Robot VI, *International Journal of Humanoid Robotics*, Vol. 17, No. 5, 2050019, 2020
- [21] Junkai Fu, Fumihito Kato, Yasuyuki Inoue et al. : Development of a telediagnosis system using telexistence, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 25, No. 3, pp.277-283, 2020.
- [22] Susumu Tachi, Kouta Minamizawa, Masahiro Furukawa et al. :Haptic media construction and utilization of human-harmonized “tangible” information environment , *Proceedings of the 23rd International Conference on Artificial Reality and Telexistence*, Vol. 54, No. 6, pp.140-150, 2013.
- [23] 三河祐梨, 牧野泰才, 篠田裕之:深層学習を用いた押下動作映像からの硬さ推定, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 23, No. 4, pp.239-248, 2018.
- [24] 岡本光平, 安原一良, 鎌田一 et al. :やわらかさセンサー「SOFTGRAM」の開発, 日本食品工学会誌, Vol. 20, No. 3, pp.A-4 – A-6, 2019.
- [25] 松本翼, 松永忠雄, 片平晋太郎 et al. :術中における心筋硬さ計測センサの開発, 生体医工学, Vol. 52, No. Supplement, pp.O-448, 2014.
- [26] 田中真美, 亀井正知, 古林満之 et al. :前立腺の硬さ及び形状評価のための触診センサ(臨床応用と信号処理について), 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 65, No. 636, pp.3296-3301, 1999.
- [27] 寒川雅之:医療・福祉におけるセンシングと MEMS 技術を用いた触覚センサ, 日本印刷学会誌, Vol. 54, No. 6, pp.365-370, 2017.
- [28] 金時学, 長谷川晶一, 小池康晴 et al. : 7 自由度力覚ディスプレイ SPIDAR – G の提案, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 7, No. 3, pp.403-412, 2002.
- [29] 池田義明, 藤田欣也:指先の接触面積と反力の同時制御による柔軟弾性物体の提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol. 9, No. 2, pp. 187-194, 2004.
- [30] 田島優輝, 加藤史洋, 井上康之 et al. :力・振動・温度を触原色とする触感提示デバイスにおける触感再現手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 1, pp.125-135, 2019.
- [31] 長谷川悠, 安達和彦, 東洋平 et al. :力覚提示装置を用いた外科手術トレーニングシステム開発のための基礎研究, *Dynamics & Design Conference 2008*, 352-1 - 352-6, 2008.
- [32] Masashi Nakatani, Katsunari Sato, Kunio Sato et al. : A novel multimodal tactile module that can provide vibro-thermal feedback, *Haptic Interaction*, pp.437-443, 2016.
- [33] 加藤一郎, 小金沢鋼一, 高西淳夫:乳ガン自動触診ロボット・WAPRO-4, 日本ロボット学会誌, Vol. 5, No. 2, pp.102-108, 1987.
- [34] 柴田洋希, 岡本紀明, 内田剛:遠隔診断ロボット用安全触診アームの構築と機能検証, 日本機械学会論文集 C 編, Vol. 74, No. 739, pp.671-678, 2008.
- [35] 有馬義貴, 矢野忠: 触診法の客観化に関する基礎的研究-触診時の指の動作を基本にした生体の硬さ測定-, 医用電子と生体工学, Vol. 36, No. 4, pp. 321-336, 1998.
- [36] 照井秀一, 齋藤直樹, 岡野秀晴:柔軟接触センサによるロボット触診動作における形状認識特性, 福祉工学シンポジウム講演論文集, Vol. 2005, 2A1-41, 2005.
- [37] 吉富健二, 徳安達士, 利光和彦 et al. :バネ要素を用いた簡易メッシュフリー法による頭部触診訓練システムの開発, *ロボティクス・メカトロニクス講演概要集*, 1A1-20a1, 2016
- [38] 菊池美郁, 利光和彦, 松田千尋 et al. :VR 頭部触診訓練システムのための MPS 弾性解析に関する基礎的研究, *ロボティクス・メカトロニクス講演概要集*, 1P1-D02, 2018.