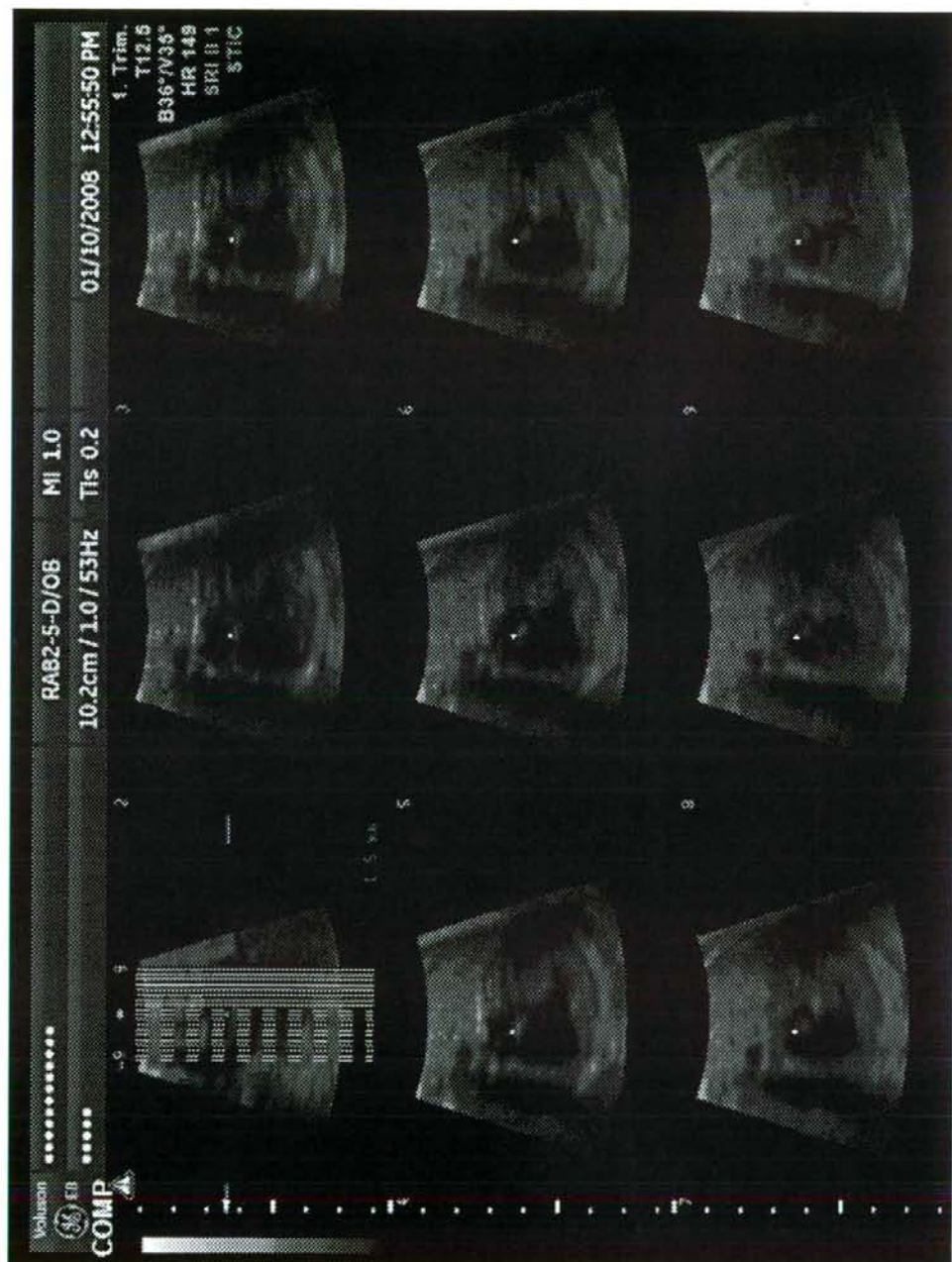


正常症例



心内膜症欠損症例



厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進総合研究事業）
分担研究報告書

新生児重症心疾患に対する予後向上のためのリアルタイム心エコー動画像による遠隔診
断と新生児心疾患救急診療システム確立に関する研究

分担研究者 安河内 聡 長野県立こども病院 循環器科部長

研究要旨：新生児重症心疾患に対する予後向上のためのリアルタイム心エコー動画像による遠隔診断と新生児心疾患救急診療システム確立に関して、まず初年度は信州大学と長野県立こども病院間にすでに敷設されていたハイビジョンシステムによる画像配送システムを利用して心エコーおよび心カテテル検査の動画・音声情報の検討を行った。その結果ハイビジョン遠隔画像配信システムにおける画像転送の画質は非常に高く画像診断上まったく問題が見られなかったが、音声配信では転送システムの情報量の制限によりリアルタイムでの音声配信が難しく回線速度により約10秒の音声のずれを生じた。またこのシステムの構築には多額の費用が必要で汎用性に欠けることも大きな問題であると考えられた。

次に2年次には、新生児診断の遠隔診断のためにより簡便な動画情報の撮像法の工夫として、胎児診断の遠隔診断に用いられているSTIC法（Spatio-Temporal Image Correlation法）を用いた遠隔診断が可能かどうか検討した。STIC法は胎児においては呼吸や肋骨などの影響が少なく1回約7から12秒のscanで心臓全体のvolume dataの獲得が可能で、獲得した3D volume dataから診断に必要な多断面の超音波画像が再構築できる有用な方法である。ただ、新生児においては呼吸による変動と超音波ビームのウィンドウの制限、体動によるartifact、肋骨などのエコーウィンドウの障害などのために胎児のような3D volume dataの獲得は困難で簡便な遠隔診断のための画像撮像法には向かないことが判明した。実際記録された113画像中110画像で再構築が可能であった。全アプローチの心臓全体の完全描出率は31/110（28.2%）で、各アプローチでの描出率は四腔断面アプローチでは14/51（27.5%）、心室短軸断面アプローチでは6/22（27.2%）、胸骨下アプローチでは5/24（20.8%）、心室長軸アプローチでは6/13（46.1%）であった。完全描出ができなかった理由としては、対象新生児の呼吸運動不整によるものが5%、肺動脈が取り込みから外れてしまったもの20%、右室が外れたもの1%であった。画像診断率は、最終的には28%に留まった。

3年次は、長野県内の総合周産期センターである当院における先天性心疾患の

新生児搬送例の解析に基づく、遠隔診断の重要性について検討した。2008年4月1日より2009年12月31日までで長野こども病院に新生児搬送された91例のうち、心疾患症例の連続18例。同時期に母胎搬送された心疾患25症例。さらにインターネット iChat による遠隔診断システムで診断した2例を対象に検討した。結果としては、胎児診断かつ遠隔診断されなかった新生児搬送例は14例あり、動脈管依存性の Arch anomaly は2例、緊急もしくは準緊急の手術が必要となった TAPVC が3例、動脈管依存性の肺動脈狭窄、閉鎖が2例、大血管転位症が2例で、緊急搬送の適応例は合計9例、60%存在した。出動距離の中央値は105km (15-233km)、搬送時間は、2時間32分 (50分-4時間45分) 要していた。同時期に行った胎児診断症例は24例で、内訳は左心低形成症候群を含んだ動脈管依存性の arch anomaly が3例、動脈管依存性の肺動脈閉鎖および狭窄症例や三尖弁異形性の症例が6例で、緊急搬送が必須と考えられた症例は9例存在し、約38%であった。胎児診断率は、約63%であった。実際に遠隔診断例した2例のうち、大血管転位症の1例では、遠隔診断で疾患の確定診断と卵円孔狭小を診断し、緊急搬送の必要性和搬送後の緊急心房中隔裂開術 (BAS) の必要性も診断し得た。

【結論】このような実際の症例の経験から、本研究が目的とする安価で臨床上有用な iChat を使用した新生児期重症先天性心疾患のリアルタイム動画転送遠隔診断システムは、出生前診断の困難な重症例の早期確定診断と早期治療介入に有用であり、このようなリアルタイム画像遠隔診断システムの構築がより安全で効率的な小児循環器医療の向上に大きく貢献すると考えられる。

○分担研究者

長野県立こども病院循環器科部長

安河内聰 (平成20年)

長野県立こども病院副院長

里見元義 (平成18,平成19年)

○研究協力者

長野県立こども病院循環器科医監

瀧間浄宏 (平成20年)

A 研究目的

(1) 既存の信州大学開発のハイビジョンシステムによるエコー動画転送システムの遠隔診断における利点と問題点について検討するこ

と。

(2) 胎児心エコー診断において胎児心臓の形態的異常や血行動態的異常を Volume data として記録できる STIC 法 (Spatio-Temporal Image Correlation) 機能を搭載した超音波診断装置が開発され、必要な断層像や立体像を自由に構築・解析できる臨床上有用な画像診断法として注目されている⁽¹⁾。(図1、2) この3D volume data acquisition system である STIC 法に「SonoVCAD (Sonography based Volume

Computer Aided Diagnosis)」というソフトを用いれば、胎児の複雑な心内腔の構造や心室流出路などを非専門家でも自動的に断面を描出することが可能であることから^(2,3)、STIC法を新生児のリアルタイム画像遠隔診断に使用ができるか否か、その利点と問題点について検討することを第2の研究目的とした。

(3) 長野県内の総合周産期センターである当院における先天性心疾患の新生児搬送例の解析に基づいて、リアルタイム心エコー画像遠隔診断の重要性について検討すること。

B 研究方法

(1) 信州大学が開発したハイビジョンシステムによる画像転送システムを信州大学小児科および遠隔診療部と連携して、心エコーおよび心カテの動画情報を遠隔送信して遠隔診断に耐える画質かどうか検討し、また症例検討の合同カンファレンスの実施上の利点と問題点について検討した⁽³⁾。画像診断システムは、表のような信州大学医学部医学情報科が開発したシステムを用いた。(図1)

(2) 当院 NICU に入院中の新生児および乳児8例(体重1.596~2.86Kg、日齢13~62日)を対象とした。ご両親の Informed consent を得た後に、覚醒状態または半覚醒状態の新生児・乳児早期児に対して、小児循環器専門医ではない後期研修医に

probe を胸壁のさまざまな部位から当ててもらい STIC 法により 3D Volume 画像 Data を取り込んでハードデスク上に保存した。取り込み時の画像断面方向は、心尖部四腔断面、傍胸骨左縁四腔断面、心室短軸断面、胸骨下四腔断面で、取り込み時の scan 角度は心臓全体をカバーする目的で 40 度に設定した。保存された 3D Volume Data を別の小児循環器科医が全く別個に画像を再構築し、全心臓の構造物がカバーされているか、取り込まれた画像が診断的か、再構築画像により診断が可能かどうかそれぞれ検討した。用いたが総診断装置は、GE 横河メデイカルシステム社製 Voluson 730 Expert と Voluson E8 と RNA5-9 probe を使用した。Voluson E8 においては、GE 横河メデイカルシステム社製 Sono VCAD という Off-line 3D imaging analysis software を用いて 3D 画像構築した。

(3) 長野県内の総合周産期センターである当院における先天性心疾患の新生児搬送例の解析に基づいて、リアルタイム心エコー画像遠隔診断の重要性について検討するために、2008年4月1日より2009年12月31日までの期間で長野こども病院に新生児搬送された91例中先天性心疾患を合併した18例と、同時期に母胎搬送された心疾患25例。さらに当全体研究で用いられているインターネット iChat による遠隔診断システムで

診断した2例を対象とした。(表1)

2. 方法

新生児搬送された先天性心疾患症例の内訳、搬送地域、搬送病院、搬送時間、搬送距離を検討した。さらに胎児診断例数から疾患の内訳と胎児診断率を算出した。

実際のiChatによるリアルタイム心エコー動画の転送は、送信側では心エコー装置からNTSC出力されるアナログ映像をCanopusADVC110でデジタル変換してApple社製コンピュータに入力した。さらにApple社製ビデオチャットアプリケーションであるiChatを使用してインターネット(ADSL回線)を介して、受診側の長野県立こども病院のコンピュータに送信、表示をした。(図4、5)

C 研究結果

(1) ハイビジョン医療動画転送システム: 通常のTV画像の環境では、静止画の転送、心臓超音波画像については診断に十分な画質が得られたが、心血管造影(1秒間に60コマの撮影)では十分な空間分解能を確保した動画の転送は困難であった。またカンファレンスの討論の音声転送では、約10秒の時間のずれを生じて円滑な議論の進行が困難であった。当院施設内の高速通信回線では、ハイビジョン画像の転送のためには十分な通信速度を容量を確保できないと判断して、単独光ファイバー回線を敷設しハイビジョ

ン画像の転送を再度試みたところ、心臓超音波動画像ばかりではなく心血管造影動画像の高画質の遠隔転送が可能となり当院と信州大学の間での専門医療施設間での合同カンファレンスが可能となった。

(2) 8症例から合計113のSTIC法による3D volume dataが記録された。記録された113の3D volume dataについて検討した。113中110で再構築が可能であった。全アプローチの心臓全体の完全描出率は31/110(28.2%)で、各アプローチでの描出率は四腔断面アプローチでは14/51(27.5%)、心室短軸断面アプローチでは6/22(27.2%)、胸骨下アプローチでは5/24(20.8%)、心室長軸アプローチでは6/13(46.1%)であった。(図6)完全描出ができなかった理由としては、対象新生児の呼吸運動不整によるものが5%、肺動脈が取り込みから外れてしまったもの20%、右室が外れたもの1%であった。またこれらの画像取り込みに要した時間は5~10分と予想以上に時間を要した。時間を要した理由は、対象新生児のscan中の体動や啼泣のためscanを完了することができなかったことがほとんどであった。これらの結果、STIC法による心疾患の画像診断率は、最終的には28%に留まった。

(3) 実際の新生児先天性心疾患の搬送状況からみると搬送された

新生児のうち、胎児診断されたが母体の high risk 妊娠のために管理可能な他病院で出産したのち、当院に搬送した症例は 3 例あった。この 3 例と遠隔診断した 1 例を除いた残り 14 例について疾患名、搬送地域、出動距離(往復)、搬送時間を示した表が資料 1 である。14 例の内、動脈管依存性の Arch anomaly は 2 例、緊急もしくは準緊急の手術が必要となった TAPVC が 3 例、動脈管依存性の肺動脈狭窄、閉鎖が 2 例、大血管転位症が 2 例で、緊急搬送の適応例は合計 9 例、60% 存在した。Arch anomaly の症例で ductal ショックを生じた症例はいなかったが、TAPVC は 3 例ともに搬送元で診断がされずに重度のチアノーゼを呈し、そのうち 1 例はサーファクタント投与がなされていた。

出動距離の中央値は 105km (15-233km)、搬送時間は、2時間32分 (50分-4時間45分) 要していた。搬送地域は飯田地方から近隣の松本市まで長野県全般にわたっていた。(図 7) 2. 同時期に行った胎児診断症例の表を表 2 に示す。胎児診断数は 24 例であった。内訳は、左心低形成症候群を含んだ動脈管依存性の arch anomaly が 3 例、動脈管依存性の肺動脈閉鎖および狭窄症例や三尖弁異形性の症例が 6 例で、緊急搬送が必須と考えられた症例は 9 例存在、約 38% であった。長野県では外科的および内科的治療が必要な心疾患はほぼ全例こども病院に紹介されるので、

単純に新生児搬送 14 例と胎児診断症例 24 例を合計した 38 例がおよその新生児発症の心疾患の発生数となる。従ってこの期間に出生した新生児発症先天性心疾患に対する胎児診断率は、約 63% であった。

今回の疾患のうち、21 例が院内出生で出生後にショックや著しい低酸素血症に陥った症例はいなかった。

3. 実際に施行し得た遠隔診断例について、1 例は満期産、経膈分娩で出生、日齢 0 に SpO₂ 50-60% の重度低酸素血症を呈した大血管転位症であった。遠隔診断で同疾患と卵円孔狭小化を診断した。同日に緊急搬送して経皮的心房中隔裂開術 (Balloon atrial Septostomy: BAS) を行い、低酸素血症の改善を得た。他の 1 例は上気道狭窄症状のある心室中隔欠損症例で、遠隔診断で血管輪や重複大動脈等の他の合併がないことを評価し、緊急搬送の必要性がないことを判断した。(表 2)

D 考察

(1) 遠隔診断カンファレンスでの必要条件としては、送信側の動画像と受信側の動画像の画質が同等に閲覧でき、動きに支障がないことが必要であるが、そればかりではなく双方の音声交信が円滑で双方向性である事が必要不可欠と考えられる。また説明のための図、表、レントゲン写真や心電図などの静止画が同時に高画質で送れること、心臓カテーテ

ル検査や超音波画像などの動画像が高画質で動きに支障がなく伝送できること、受け手の受信者が送信元の画質と同等の画質で評価できることなどが必須と考えられる。その点で、専門施設間の遠隔診断システムでは、今回のようなハイビジョン画像転送システムは非常に有用と考えられた。ただ、このシステムは非常に効果であり転送に関する機器の整備に熟練を要する事が欠点で、広く普及させるためにはこの研究班が目指すようなもっと簡便なシステムの構築が必要と思われる。ただし、この送受信のシステムを立ち上げて実際に動かす場合には、ITに関する専門的知識がなくても検討会を開催することができ、また緊急時にその立ち上げが迅速であることが要求される。このためには、システムの簡素化と運用のマニュアル作成が重要な鍵を握ることにあると考えられる。さらにまた、リアルタイム画像診断のためには、送受信双方の画像診断手順の共有化も不可欠と考えられるため、画像診断のためのプロトコールとマニュアル作成は必須と考えられた

(3) 　　いかに簡便に誰でも心エコー画像が撮像できるかが遠隔診断においては重要なポイントになる。その場合に、先天性心疾患の解剖学的知識がなくても心臓全体の解剖が解析できるような撮像法があれば非常に有用であることは間違いない。

そこでわれわれは、胎児心エコーで用いられているSTIC法を新生児先天性心疾患の遠隔診断に使用できないか検討してみたが、胎児心においては、肺に含気がなくSTIC法を用いて容易に心臓全体の画像取り込みが可能である反面、新生児においては肺と肋骨・胸骨などの骨格による超音波ビームの入射障害の影響が強くなり心臓全体の画像の取り込みが困難なことが問題であった。また撮像中の体動が多く、取り込み中の胎児区のブレがないこと条件のSTIC法では問題であった。つまりSTIC法でのscan中体動があると、取り込みscanの軸がずれるため解析可能な3D Volume Dataとしての画像取り込みに多大な時間を要し、また取り込み作業自体がキャンセルされて最終的な画像を得るまでに反復が必要なことが多かった。今回の検討のように3D Volume Dataからの再構築率も28%と低く、スクリーニングの画像診断法として臨床上問題である。小児循環器の専門研修を終了しておらず心臓の超音波検査に慣れていない研修医でも簡便にできる新生児心疾患のスクリーニングとしてのSTIC法の使用は難しいと思われる。もし、このSTIC法を搭載した新しい超音波断層装置の画像取り込みのためのアルゴリズムが改善され、心エコー診断画像取り込みがもっと短時間または短い心拍数で取り込めるようになれば、心疾患のスクリーニング法として十分臨床応

用が可能になると思われる。

Volume Data として取り込んで評価する画像診断法としてリアルタイム 3D 心エコー法による心疾患のスクリーニングは有用であるかもしれないが、やはり超音波ビームの入射ウインドウの制限、診断装置の操作法の問題、心電図同期の必要性などの問題があるためすぐに遠隔画像診断法として応用することは難しく、現時点では臨床応用は無理と考える。

新生児・乳児早期心疾患の画像診断については、心臓全体が俯瞰できるようなエコーscan法が必要で、なおかつドプラ血流などの3次元的表示も可能となれば血行動態の評価にも結びつくと考えられる。胎児心エコーにおけるSTIC法のような撮像プロトコルの新生児心疾患へのアプリケーションの開発は、本研究の基本的根幹をなす部分であり非常に重要な課題と考えられた。

(3) そこで、本班会議で検討してiChatシステムを用いた遠隔診断の実際について長野県内の新生児先天性心疾患の搬送システムの中での意義について検討してみた。

長野県の場合、出生前診断が新生児の危急的心疾患の管理に重要な役割を果たしており、胎児診断が容易な左心低形成症候群のような疾患では、ほとんど母体搬送が行われ

るようになっている。

問題は胎児診断が比較的困難な大血管転換のような先天性心疾患の場合であった。今回の検討では、3例中1例のみが胎児診断されたのみであった。開設以来、当院で治療した大血管転位症58例のうち、胎児診断されたのは6例で胎児診断率はわずか10%であった。さらに、日齢0に緊急のBASを要した症例は40%存在した。胎児診断率の低い大血管転位症の場合、危機的な重度チアノーゼの暴露から早期に離脱する目的で遠隔診断は非常に重要である。(図4)

今回の検討では、長野県の場合、新生児搬送に非常に長距離、長時間を要していた。つまり出生後の遠隔画像診断により疾患の重症度によりヘリコプター搬送が必要かどうかなど搬送方法を選択したり、休日や夜間などでは搬送中に当院で行う予定の緊急処置のための準備を進めることなどによって、人的、時間的、経済的にも無駄なく医療資源を活用できると考えられる。

今回我々が使用したiChatのプラットフォームは光回線ではなくADSLの高速回線であったが、転送された動画はフレームレートが落ちてややぎこちなく見えるものの、確定診断には十分な画像で、実用に耐えうるものと判断できた。実際、大血管転位症例では、卵円孔の狭小化を診断が可能で、緊急搬送してBASを施行した。送信元で心エコーを施行したのは、通常成人の心エコーを行っている超音波検査技師で

あり、短軸断面、4腔断面、長軸断面で探触子をいじってもらって画像を描出した。たとえば左室短軸断面では心尖部から心基部、さらに大動脈弓レベルまで、探触子を動かしていただき、さらに、同断面でカラーマッピングをかけてもらい、診断した。スクリーニング方法は種々、今後検討してゆかねばならないが、多くの病院で心エコーを日頃行っているのが小児循環器専門医ではなく超音波検査技師であることを考えると、先天性心疾患の遠隔診断における検査技師の画像描出方法の検討は重要な課題の一つである。

E. 結論

このような実際の症例の経験から、本研究が目的とする安価で臨床上有用な iChat を使用した新生児期重症先天性心疾患のリアルタイム動画転送遠隔診断システムは、出生前診断の困難な重症例の早期確定診断と早期治療介入に有用であり、このようなリアルタイム画像遠隔診断システムの構築がより安全で効率的な小児循環器医療の向上に大きく貢献すると考えられる。

F. 研究発表

1. 論文発表

- ・内藤幸恵, 里見元義, 安河内聰, 金子幸栄, 打田俊司, 原田順和. 心房間交通障害を伴う左心低形成症候群の臨床・病理学的検討. 日本小児循環器学会雑誌; 24:

697-704, 2008

- ・松井 彦郎, 里見 元義, 安河内聰 et al. 出生前診断に基づいたカテーテル治療. 日本小児循環器学会雑誌; 23: 19-25, 2007
- ・Matsui H, Satomi G, Yasukochi S, Kaneko S, Haseyama K. Evaluation of Right Ventricular Contraction by Myocardial Strain in Children Using a Two-Dimensional Tissue Tracking Method. *Pediatric Cardiol*; 29:377-381, 2008
- ・Kajimura I, Satomi G, Yasukochi S, et al. Pericardial Three-dimensional Echocardiography. *J Echocardiography*; 6:39-45, 2008

文献

1. Goncalves LF et al. Examination of the fetal heart by four-dimensional (4D) ultrasound with spatio-temporal image correlation (STIC) *Ultrasound Obstet Gynecol* 2006; 27:336-348
2. Vinals F et al. Prenatal diagnosis of congenital heart disease using four-dimensional spatio-temporal image correlation (STIC) telemedicine via internet link: a pilot study. *Ultrasound Obstet Gynecol* 2005; 25:25-31
3. Jin-Chung Shih, Chih-Ping Chen. Spatio-temporal Image Correlation

(STIC): Innovative 3D/4D)
Technique for Illustrating Unique
and Independent Information
and Diagnosing Complex
Congenital Heart Diseases. Croat
Med J 2005;46:812-820

4. 滝沢正臣 Tlemedicine in Shinshu
II:信州の遠隔医療 II 2006

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進総合研究事業）
分担研究報告書

インターネット利用によるリアルタイム心エコー動画転送システム
ー各種システムにおける特徴・問題点についてー

分担研究者 大月審一 岡山大学病院 周産母子センター 准教授
研究協力者 岡本吉生 岡山大学病院 小児科 助教

研究要旨

【目的】一般民生用のインターネット網を用いた、リアルタイム心エコー画像転送システムによる遠隔診断に関して、その特徴や問題点につき検討した。

【方法】使用したシステムは(1)国立循環器病センター小児科において実証実験された Apple 社製 iChat (画像転送ソフト)を用いたシステムおよび(2)岡山大学病院小児科と ALOKA 株式会社による共同研究により開発された高精度リアルタイム心エコー画像転送システム (REINS Gate)を用いた。受診側は B フレッツ (NTT 西日本) の光ファイバー、送信側は ADSL (NTT 西日本) あるいは B フレッツ (NTT 西日本) の光ファイバーを、通信環境により適宜導入した。画像の質と伝送路容量 (帯域幅) の関連性を把握し、遠隔診断への有用性を判断した。

【結果】(1)のシステムでは、伝送路容量 (帯域幅) が概ね 300Kbps を越えておれば通常の良い画像レベルが保持されていたが、300Kbps を下回り、200～100Kbps では原則ブロックノイズパターンを示し、実用性に乏しいと判断した。(2)のシステムは上下 7.5～15M 程度の伝送路容量 (帯域幅) が得られていれば、10～40 パケット程度の消失しか認められず、実際の心エコー装置と遜色のない高精度の動画転送が確認された。

【考察・まとめ】リアルタイム心エコー画像転送システムは十分に実用化可能な段階に到っていた。本システムの活用により、新生児医療の先天性心疾患領域における時間的・空間的不利益を軽減することが可能と考えられる。

【背景】

新生児医療の先天性心疾患領域において、心エコー検査による診断は必須である。低侵襲性であり、繰り返し検査可能である心エコー検査により、新生児期の先天性心疾患に対する主たる治療方針は決定される。さらに、胎児期の先天性心疾患スクリーニングにおける心エコー検査の有用性は述べるまでもない。しかしながら、最近においても新生児期医療を取り扱う施設に必ず小児循環器疾患専門の医師が在籍しているとは言い難い現況があり、正確な早期診断に対するニーズはいまだに高いものがある。このような医療体制において、一般民生用のインターネット網を用いたリアルタイム心エコー画像転送システムは、人的資源の有効活用のため、試みられてしかるべき手段と考えられる。

【目的】

一般民生用のインターネット網を用いた、リアルタイム心エコー画像転送システムによる遠隔診断に関して、その特徴や問題点につき検討した。

【方法】

使用したシステムは(1)国立循環器病センター小児科において実証実験された Apple 社製 iChat(画像転送ソフ

ト)を用いたシステムおよび(2)岡山大学病院小児科と ALOKA 株式会社による共同研究により開発された高精度リアルタイム心エコー画像転送システム(REINS Gate)を用いた。

(1)は実際のシステムとしては以下の構成となっている。まず第一に検査施行中の心エコー装置から analog の動画像情報を取り出す。今回は、analog の動画像情報を、主に心エコー装置に付属する動画像記録用 Video recorder の映像外部出力端子よりリアルタイムに得た。続いて、analog の動画像情報をコンポジット端子にて analog-digital converter (canopusRADVC110)に入力し、digital な動画像情報に転換する。その後この digital 化された動画像情報をリアルタイムに画像転送用コンピューターへと入力する。今回、画像転送用コンピューターには、送信側は Apple 製 Macintosh PowerPC G5、iMac G5 または MacBook を、受信側には Apple 製 Macintosh PowerPC G5 を用いた。コンピューターへと入力された digital 化された動画像情報は画像転送用ソフト (Apple 製 iChatAV) により認識される。画像転送用ソフトにより digital 化された動画像情報は、一般のインターネット回線経由で他施設の受信用

コンピューターへと転送される(図1、2)。

(2)のシステムとしては、受信側にはインターネットに接続できるパソコン(P4、3.8G、メモリ2G、1000BaseT)に受信用専用ソフトを組み込み、モダリティはアロカ製SSD-α10を用い、α10から出力されるフルデジタルのIEEE1394、DV画像を送信可能な日本ビクター製BD-X201Mのネットワークポートから送信した。本装置は循環器仕様の他にBD-X201Mの遠隔配信機能を制御可能とし、配信開始や配信先の変更を装置側から操作できるようにした。

本方法ではルータでVPNを設定し暗号化技術により指定先以外の受信を事実上不可能にした。VPNは暗号化技術により仮想的専用線状態をインターネット網上に構築するものであるが、万が一にも情報漏洩を考慮して、出力画像のみ表示されている患者情報をマスクするハードウェアを装置内部に用意した(図3)。

いずれのシステムにおいてもネットワークには、受診側はBフレッツ(NTT西日本)の光ファイバー、送信側はADSL(NTT西日本)あるいはBフレッツ(NTT西日本)の光ファイバーを準備し、インターネット環境としてOCN(NTTコミュニケーション)を利用した。

(1)のシステムに関する実験では以下の項目について検討した。今回は送信側としてより劣悪と思われるADSL環境しか有さない僻地遠隔地として、高知県宿毛市の高知県立幡多県民病院を選択し、実験を行なった。画質の評価においては、岡山大学大学院小児医科学教室の小児循環器疾患専門医6名により合議制にて実施した。伝送路容量(帯域幅)はiChatに内蔵される計測ソフトを利用した。

1. 適宜ランダムにリアルタイム心エコー画像転送を行い、その時点での画質の質と伝送路容量(帯域幅)の関連性を把握し、主にその限界点を検討する。

2. 24時間連続でのリアルタイム心エコー画像転送実験を行い、今回の条件下での伝送路容量(帯域幅)の日内変動を明瞭にし、有用性を検討する。

(2)のシステムに関する実験では以下の3段階を画質、消失したパケット数で比較検討した。

1. 装置(BD-X201M)をクロスケーブルで直接パソコンに接続し、受信側は専用ソフトで評価する。

2. BD-X201MのネットワークをVPNルータ経由で、東京都青梅市からインターネットを通じて同三鷹市にあるパソコンに接続し評価する。

3. 同上のシステムを用いて岡山赤十字病院、津山中央病院および岡山愛育

クリニックからインターネットを通じ岡山大学大学院小児医科学教室にあるパソコンに接続し、小児循環器疾患専門医6名により評価する。

【結果】

(1)のシステムに関する実験

1. ランダムなリアルタイム心エコー画像転送の環境においては、伝送路容量(帯域幅)により実用性に差異が認められた。小児循環器疾患専門医6名による画質検討では、伝送路容量(帯域幅)が概ね300Kbpsを越えておれば通常の良い画像レベルが保持されていたが(図4)、300Kbpsを下回り、200~100Kbpsでは原則ブロックノイズパターンを示し(図5)、実用性に乏しいと判断された。

2. 24時間連続でのリアルタイム心エコー画像転送実験では、(表1)に示すように、伝送路容量(帯域幅)は概ね300~400Kbpsが確保されている結果となった。1.の実験で示されたような伝送路容量(帯域幅)の低下は認められなかった。ADSLに関しては、ベストエフォートであるために回線の混雑程度により、伝送路容量(帯域幅)に差が生まれることは容易に推測される事ではある。しかしながら、今回の条件下の実験では、伝送路容量(帯域幅)の不足は稀な事態であり、実用性は高いと判断された。

(2)のシステムに関する実験

1.の環境においては、送信側と受信側を直接接続しているため、当然のごとくパケット消失はなく鮮明に画像が表示された。フレームレイトは装置側で出力される30Hzと同一であり画質劣化は確認できなかった。

2.の環境下では、初期実験段階ではVPNルータとインターネットの帯域低下により100~20パケット程度の消失が確認された。画質に関しては80パケット以上の消失で非常に大きなブロックノイズが確認され、超音波診断に耐えられないと判断した。ただし、フレームレイトは1.の環境と同じ30Hzで表示された。第二段階として、VPNルータ、パソコンのネットワーク設定を再調整し、最終的には平均10~40パケット程度の消失まで抑えることに成功し1に近い画像を送受信できることが確認できた。

3.の環境では、比較的通信環境の良い岡山市内の岡山赤十字病院、岡山愛育クリニックと県北に存在しやや通信環境的に不利な津山中央病院の2施設から画像を送信した。3施設ともに、平均すると10~40パケット程度の消失で画像を受信することが可能で、目視上画像の乱れは認めなかった。ただし、Bフレッツがベストエフォートを採用しているため、長時間接続による検討では、時間によってパケット消失にばらつきが確認された。また両

環境とも通信環境計測ソフトによる実測では、上下 7.5~15M 程度の回線速度が得られていた。

この条件下によるリアルタイム心エコー画像転送に対して、小児循環器疾患専門の医師 5 名により画質の評価を行った。対象は十分なインフォームドコンセントのうえ同意の得られた新生児とした。評価は、①実際の画像転送時に遠隔診断可能か否か、②画像の質としては、普段使用している通常の心エコー装置の何%程度の画質と思われるかの二点について行った。

①に関しては、全てのリアルタイム心エコー画像転送を実施した症例において遠隔診断可能であった。最終診断との比較においても、主病名に関しては全例一致していた。②の転送動画像の質については、定量的評価が難しいため、小児循環器疾患専門の医師の印象でしかないが、おおむね通常業務に用いる心エコー装置と同等、ほぼ 100%の質は確保されているとの意見が多かった。

【考察】

近年のインターネット環境における情報伝達速度の向上は、種々の新しいインターネット利用形態を生んでいる。いままでほぼ不可能であったリアルタイムの情報伝達が可能となり、主にエンターテインメント目的にて各種

サービスが実施されるに至っている。しかしながら、医療の世界においては、この環境が十分に生かされているとは言い難く、むしろこれから開発が期待される段階でしかない。

また僻地遠隔地における小児循環器疾患専門医の不足は明瞭であり、何らかの対応を考慮する事は、小児医療の充実にとって重要な課題といえる。本研究におけるリアルタイム心エコー画像転送システムの活用はひとつの模範回答と思われ、積極的な展開が必要とされている。しかしながら、僻地遠隔地においては、距離的時間的な問題解決を計ろうと IT 利用を考慮するも、その劣悪な情報転送環境に、種々の試みが阻まれているのもまた事実である。

(1)のシステムは高精度とまでは言えないものの、診断に対して充分有用な能力を有すると考えられ、今後の問題解決に向けて大きな意味を持つ。今回の実験結果を考慮すれば、ADSL しか利用出来なくとも、300Kbps の伝送路容量(帯域幅)が概ね確保されていれば、(1)のシステムは使用可能と考えられ、事前調査を行えば安心してシステム導入が実現可能と思われる。また実験環境では日内変動も少なく、必要な時にすぐに画像転送を行なえる可能性が高い。

ただし、ADSL に関してその伝送路容量

(帯域幅)はベストエフォートな環境
成立でしかなく、不安定性を有する事
は如何ともし難く、今後より安定した
通信環境の成立を目指す必要性が存
在することは明らかである。

また、(2)のシステムの実験結果から
は、安価な民間のインターネット通信
網を使い、高精度心エコー動画をリ
アルタイムに遠隔地に送信すること
は、技術的に充分可能であった。ネッ
トワークに利用したBフレッツの光フ
ァイバーは、ベストエフォートである
ために回線の混雑程度で画質劣化が
懸念されるものの、実用段階に至っ
ていると考えられ、まさしくその場で
診断するのと同等の効果が得られる
ものと思われた。今後のさらなる技術
的な課題として、高速通信インター
ネット回線以外の通信環境に対応し
うる、動画転送ソフトの高性能化が
あげられる。今回のシステムに用いら
れた動画転送ソフトについても、以前
より高圧縮かつより鮮明な動画像
コーデックが使用されている。現在種
々の開発がすすむ領域でもあり、今
後いかなる様式、情報圧縮方式が医
療環境にとって必要なか対応がせ
まられていると思われる。

一方で今後、本システムを有効利用
するためには、送信側の人材育成も
考慮されなければならない。確かに、
送信側が未熟な検査施行者であろう
とも、

受信側からの助言により適切な画像
断面の描出が可能ではあった。しか
し、重症例における患児の負担軽減
などを考えれば、本システム利用者
に対する基本的な心エコー検査法の
伝授は必要と思われ、定期的なスク
ーリングなどが考慮されてもよい。今
後の課題でもあるが、システムの inter
active な特性を生かした on demand
な教育形態も、多忙な小児科医師に
とっては必要とされる支援体制であ
らう。

システム導入に際する、送信側一
施設あたりのコストは、送信側負担
としても可能な範囲であった。今ま
で種々の研究に用いられたような専
用線に比してかなり低コストであり、
経済的にハイパフォーマンスと思わ
れる。ただ、システムが必要とされ
る症例数によっては、商業用光フ
ァイバーによる高速通信インター
ネット回線の年間維持費に関して
疑問が生じる可能性もあり、何らか
の公的な経済的裏付けが必要とされ
る場合もあろう。維持費に関連し
て経済的側面から考えれば、今後
避けて通れないのが、システム利用
による遠隔診断に対する保険診療上
の取り扱いである。当然現在の規定
では、遠隔診断システムによる診断
に対する対応は存在せず、単なる患
者サービスでしかない。今後の本格的
運用、広がりに対して、また受信側
の努力に対して、いかなる経済的サ
ポートが可

能であるかは、関係各機関を含めた担当者による十分な検討が必要とされる。

さらに、法的に検討が必要な事として、今回のシステムを利用した場合の責任の所在があげられる。診断に対する最終的責任を誰がとるのかという事に関しては、今後検討が必要と思われるが、現状では、システムによる遠隔診断は、実際に患児に接している送信側の医師に対する受信側の助言であるという概念を用いる他ないと考える。受益者による責任分担はやむおえないのではなかろうか。これは、遠隔診断を実施する場合、必ず直面する問題であり、今後発達するであろう在宅医療における監視システムの運用も含め、議論が深まる事を期待する。

最後に本システム利用における個人情報保護について論じる。今回用いたシステムによるネットワークにおいては、可能な限りの情報漏洩防止策をとっている。しかしながら、いかなる防止策をとろうとも、常に完璧に情報漏洩を防ぎうるものではない。なるべく、現在の技術水準で実現可能な最新の防止策を更新していく他あるまい。

その観点からは、今後独自の Video codec の導入などが考慮されてしかるべきである。

さらに、特殊な診断方法を利用する事に対する、家族に対する十分な説明と同意は必要不可欠である。今回のシステム利用においても、必ず家族に対するインフォームドコンセントを実施した。

【まとめ】

リアルタイム心エコー画像転送システムは充分に実用化可能な段階に到っていた。本ネットワークの活用により、新生児医療の先天性心疾患領域における時間的・空間的不利益を軽減することが可能と考えられる。

【研究発表】

特になし

【知的財産権の出願・登録状況】

特になし。

厚生労働科学研究費補助金（地域医療基盤開発推進総合研究事業）
分担研究報告書

リアルタイム心エコー動画像による遠隔診断支援システムが果たす役割に関する検討

分担研究者 富田 英 昭和大学横浜市北部病院循環器センター 准教授

【研究要旨】

他の地域に比べ人口密度が低く、幾つかの都市部にしか小児循環器疾患を扱う医療機関が無い北海道と、近隣に小児循環器専門医が常駐する施設がある都市部におけるリアルタイム心エコー動画像による遠隔診断システムの役割について比較した。また両者における搬送方法の違いが予後に及ぼす影響について検討し、新生児・乳児期早期の危急先天性心疾患の予後を改善する方法について考察した。

A. 研究目的

先天性心疾患の外科治療が可能な施設が50km圏内に数ヶ所存在する都市部と、このような施設へ時として数100kmの搬送を要する北海道における搬送方法の違い、および遠隔診断システムの役割について比較検討すること。

B. 研究方法

研究1

生後6ヶ月未満に先天性心疾患を疑われて北海道立小児総合保健センターを紹介されたか、同センター受診後に始めて先天性心疾患が明らかとなった112例における紹介元での心エコー検査の有無とその診断精度、および診断の違いが治療方針や予後に与えた影響について後方視的に検討。

研究2

昭和大学横浜市北部病院こどもセンター

（新生児集中治療室を含む）に入院した生後6ヶ月未満の先天性心疾患97例、院内出生34例、院外出生63例を対象とし、院内出生児については、診断のうちわけ、入院から母体の入院から診断にいたった経緯、胎児診断の有無、疾患の重症度、胎児診断の有無による治療経過の違いについて検討した。一方、院外出生児については研究1と同様に紹介元での心エコー検査の有無とその診断精度、および診断の違いが治療方針や予後に与えた影響について後方視的に検討した。

研究3

都市部から離れた4つの北海道内地域中核病院（町立別海病院、八雲総合病院、浦河赤十字病院、留萌市立病院）で出生し、生後早期に高次病院へ搬送を要した11例の重症先天性心疾患症例について、

診断精度, 搬送方法, 搬送に要した時間, 予後などについて検討.

C. 研究結果

研究 1

112 例中 82 例は紹介元医療機関で心エコーを行われた後に紹介された. 紹介前に心エコーを施行した産科は無かった. 小児循環器医は一般小児科医・新生児専門医よりも有意に多く心エコーを行っていた. 全体の診断精度は一般小児科・新生児・小児循環器で産科に比べて有意に高く, これは心エコーの頻度の差に依存しているものと考えられた. 一般小児科・新生児・小児循環器の 3 者で検討した場合には小児循環器は有意に診断精度が高かった. 受診後に管理・治療方針に重大な変更があった. または受診後に始めて方針が確定したのは 75 例であり, 小児循環器からの紹介では心エコーを行わなかった例でも方針に大きな違いは無かった. 小児循環器医以外から紹介された 70 例のうち心エコーが行われたのは 41 例で, これらにおいては未施行の 29 例に比して有意に診断精度が高かった. しかし, それでもなお 41 例中 14 例(34%)では, 心エコーの診断精度に問題があり, 当科受診後に管理・治療方針が変更となった.

研究 2

院内出生児は 34 例で, 14 例は心疾患を疑われず新生児集中治療室に入院した後, 7 例は何らかの理由で母体搬送され出生後, 先天性心疾患を指摘された. 13 例は胎児診断で先天性心疾患を指摘され母体搬送された. 胎児診断の 13 例 11 例については主要な診断は一致した. 心疾患を

疑われずに搬送された例を含めて全体で 34 例中 28 例(82%)は, 先天性心疾患に対する待機的外科治療または緊急治療を必要とした.

院外出生児は 63 例で, 入院中の新生児科または小児科からの紹介されたのが 33 例, 産科からの直接紹介 19 例, 産科から新生児科を経た三次搬送 11 例であった. 63 例中 53 例(84%)は, 待機的外科治療または緊急治療を必要とする比較的重症の症例であった. 産科からの直接紹介で心エコーが行われていたのは 3 例のみであり, 他の紹介元に比べて有意に少なかった. 他の専門分野ではほとんどの例で心エコー検査が行われていた.

診断精度は心エコー施行の有無に依存し, 産科からの紹介では診断未確定が多かった. 新生児からの紹介では診断精度が十分でない例があった. 産科からの紹介では, 当科受診後に管理・治療方針に重大な変更があった. または受診後に始めて方針が確定した例が有意に多かった. 診断の遅れ・相違が生命予後を左右した例は無かった.

研究 3

重症先天性心疾患は心雑音や経皮的酸素飽和度の低値を契機に疑われ, 出生 18.4 ± 20.4 時間後に行われた心臓超音波検査により診断がなされた. 出生 20.1 ± 21.3 時間後に一次搬送が行われ, 一次搬送の所要時間は平均 1.9 時間だった. 二次搬送を要した症例が 4 例あり, いずれも航空機で行われた. 一次搬送および二次搬送でそれぞれ 1 例, 酸素やプロスタグランデインの増量など内科治療の強化を要するイベントがあった. 予後は内科管理