

本邦ではインターネットが加速度的に普及し、最近是一般家庭にも光ファイバーを用いた高速インターネット回線が整備されてきている。コンピュータの高性能化、画像圧縮技術の進歩も著しく、時と場所を選ばず高精細動画像をリアルタイム伝送することが可能になりつつある。高速インターネットを利用してリアルタイムに心エコー遠隔診断ができれば、患児、家族の利益はもとよりマンパワー不足が報じられる小児医療の一助になると思われる。

これまでも心エコー遠隔診断の報告はあるが、現在では通信速度が遅いとされる Integrated Services Digital Network (ISDN) 回線によるものであった¹⁻⁹⁾。初年度は光ファイバーによる高速インターネット回線を用いた心エコー動画リアルタイム送信システム：ALOKA SSD- α 10 REINS Gate による心エコー遠隔診断について研究し、次年度はインターネットを用いた汎用リアルタイム動画伝送システム：Apple iChat について研究した。さらに最終年度は胎児心エコー遠隔診断の可能性について研究した。

1. ALOKA REINSGATE システム

【方法】

対象は2007年1月から5月の間に、近隣市にある総合病院のNICUにて先

天性心疾患を疑い、約15 km離れた国立循環器病センター小児循環器診療部に心エコー遠隔診断を依頼した新生児とした。当該総合病院には小児循環器専門医師は常勤しておらず、国立循環器病センター小児循環器診療部の医師が週に一度の小児循環器専門外来を出張担当している。

送信側になるNICUでは、心エコー動画送信システムはSSD- α 10 REINS Gateを用い、ベッドサイドでの画像送信を行った。このシステムはALOKA社製心エコーProsound α 10 から IEEE 1394 で出力されるデジタル画像を Real-time Echo Imaging Network System (REINS) Gate ユニットを経由し、インターネット網を使用して診断を行うコンピュータに送信するものである。受信側になる国立循環器病センターでは、遠隔診断専用の Windows コンピュータを設置し REINS Gate 専用ソフトを用いて動画表示装置とした。インターネット回線はOCN光アクセスBフレッツを用い、回線の実効速度は30 Mbps程度であった。SSD- α 10 REINS Gate システムはフルデジタルで時間方向の圧縮を伴わない配信方法で遠隔配信を行うことができ、また一般公衆回線を疑似専用回線化する Virtual Private Network (VPN) 機能を有しており、暗号化により情報漏洩を未然に防ぐことが可能である。

運用に先立ちテスト用ビデオ画像を上記システムで伝送し、画質が診断可能なレベルにあることを確認した。さらに日時を変えて3回のリアルタイム心エコー動画伝送実験を行い、複数の小児循環器専門医師によって画質を評価し、その間のパケット通信量とパケットロスを計測した。

インターネットを介した情報の送信は個人情報を入力しない心エコー動画像のみとし、患児の身体所見を含む個人情報は同時に接続する通常の電話を用いて音声で行った。

機材を設置後、国立循環器病センターの小児循環器専門医師が送信側のNICUへ出向き、心エコー装置の使用法、診断に必要な基本断面およびカラーフローマッピング、血流速度の測定について実施指導した。特に上腹部から胸骨左縁を通して頸部まで、横断面をComputed Tomography (CT)の様に描出する方法「横断面連続スキャン方式」を遠隔診断の基本画像とした。NICUでの心エコー実施者は新生児科医師であり心エコーの専門的トレーニングは受けていなかった。

受信側の国立循環器病センターでは、通常の勤務時間内は新生児心疾患担当の小児循環器専門医師3人で対応し、時間外は小児循環器診療部当直医師が対応することとして24時間体制を敷いた。

具体的には、NICUで心疾患を疑い小児循環器専門医師による心エコー診断が早急に必要と判断した新生児がいれば、国立循環器病センター小児循環器診療部の担当医師に電話連絡して双方が機器の準備をした。電話による音声で双方向通信しながら、NICUが発信する心エコー動画像をみて診断をし、緊急搬送を含む初期治療方針についてアドバイスをを行った。児の両親には遠隔診断実施と相前後して口頭による説明と同意、承諾を得た。

遠隔診断の評価については、遠隔診断後に当センターに転院となった患児は転院時に、転院しなかった患児については当科の小児循環器専門医師がNICUに出向いて確定診断を行った。それぞれの症例について、遠隔診断の有用性を評価検討した。また送信、受信双方に設置したDigital Versatile Disk (DVD)レコーダーに記録された動画像の差異について検討した。

【結果】

動画伝送実験におけるパケット通信量とパケットロスをTable 1に示す。診断に要する時間を10分程度と推定して、609秒から788秒のリアルタイム心エコー動画伝送を行った。1秒あたりのパケット通信量は安定しており、画像評価にあたった国立循環器病センターの小児循環器専門医師9名全

員が画像は通常の心エコーと変わらない精細さで動きもスムーズであると評価した。パケットロスは僅かであり、画像の劣化や乱れは目視確認できないレベルであった。

対象とした新生児 8 例を Table 2 に示す。出生体重は 2652 ± 430 g (平均 $\pm$ 標準偏差), 出生週数は 39.1 ± 1.6 で, 2.6 ± 1.2 day で遠隔診断を実施した。心疾患を疑った所見は心雑音が 6 例 (75%), チアノーゼが 5 例 (63%), 多呼吸が 1 例 (13%) であった。またダウン症候群の合併は 4 例 (50%), 新生児仮死の合併は 2 例 (25%) であった。

遠隔診断の実施はスムーズで、送信側医師の電話連絡から受信側医師の画像表示コンピュータへの移動を含めて遠隔診断開始まで 5 分程度であった。画像表示から診断までに要した時間は 10 分程度であった。回線やコンピュータのトラブルはなく、また診断に障害を与える様な画像の乱れはなかった。Case 4 の遠隔診断にあたってはテスト時と同様に受診パケット数とパケットロスを記録し得たので Table 3 に示す。テスト時に比して僅かにパケットロスが増加していたが、画像の乱れは確認できず、通信確立から通信終了までに要した時間は 12 分 9 秒であった。また全例とも遠隔診断施行にあたって鎮静剤などは使用し

なかった。

遠隔診断結果を Table 4 に示す。いずれの診断も容易で特に困難な点はなかった。8 例中 7 例が複合型の先天性心奇形であり、比較的単純な疾患は心室中隔欠損の 1 例のみであった。Case 3 および 8 はそれぞれ大動脈縮窄複合、重症肺動脈狭窄と診断し、いずれもプロスタグランジン E1 持続静注下にルームエアで管理し、国立循環器病センターへの緊急搬送を助言した。他の 6 例は緊急搬送の必要はないと判断し、予定転院または外来受診を勧めた。このうち肺血流減少型のチアノーゼを呈していた 3 症例 (Case 1, 4, 5) では、水分制限や利尿剤使用をせず、チアノーゼが増悪すれば酸素投与して搬送することとした。また新生児仮死とダウン症を合併し、共通房室弁口、動脈管開存、肺高血圧と診断された 2 例 (Case 2, 6) は、新生児仮死の治療を続け、肺血管抵抗が低下して高肺血流傾向になれば転院予定とした。

最終的に 6 例 (Case 1-5, 8) が国立循環器病センターに転院し確定診断された。他の 2 例 (Case 6, 7) は国立循環器病センターへの受診を希望しなかったため、当部の専門医が NICU に出向いて確定診断を行った。確定診断結果と遠隔診断との違いを Table 5 に示す。Case 1 の右鎖骨下動脈起始異常は遠隔診断時には不明であった。

Case 2 は確定診断時に動脈管が自然閉鎖していた。Case 4 は遠隔診断時に、ファロー四徴様であるが大動脈弁と僧帽弁に線維性連続がないように見えたため、両大血管右室起始、肺動脈狭窄と診断した症例であった。転院後の心エコー検査では大動脈弁と僧帽弁に線維性連続が確認されファロー四徴と確定診断した。

国立循環器病センター小児科に転院した6例の内、緊急搬送を助言したCase 3 は5 days で一期的修復手術(大動脈弓再建、動脈管閉鎖、心室中隔欠損閉鎖)を施行し良好に経過している。Case 8 は4 days で経皮的バルーン肺動脈弁形成術の施行に成功した。Case 1 は次第にチアノーゼが進行し、17 days で転院、23 days で体肺動脈短絡手術を施行した。Case 2 およびCase 4 は心機能、血行動態は安定しており当科を退院、それぞれ上気道閉塞、内反足の精査目的にて他専門施設に入院した。Case 5 は肺血流バランスがとれているため外来経過観察とし、待期的にダブルスイッチ手術を目指している。Case 6, 7 については確定診断後の経過は不明である。

また当システム運用終了後に、送信側、受信側にそれぞれ設置したDVDレコーダーのハードディスクに記録された動画をDVDディスクに記録した。国立循環器病センター小児循環

器診療部の専門医師が複数で双方のDVDディスクに記録された動画を確認したが差異は感じられなかった。

2. Apple iChat システム

【方法】

対象は2007年6月から12月の間に、近隣市にある総合病院のNICUにて先天性心疾患を疑い、約15 km離れた国立循環器病センター小児循環器診療部に心エコー遠隔診断を依頼した新生児とした。当該総合病院には小児循環器専門医師は常勤しておらず、国立循環器病センター小児循環器診療部の医師が週に一度の小児循環器専門外来を出張担当している。

リアルタイム心エコー動画転送には汎用ビデオチャットアプリケーションを用いた。具体的には、送信側NICUでは心エコー装置からNTSC出力されるアナログ画像をCanopus ADV-C110を用いてデジタル変換し、Apple社製コンピュータに入力した。Apple社製ビデオチャットアプリケーションiChatを使用し、インターネットを通じて、診断を行うコンピュータに送信した。受信側になる国立循環器病センターでは、Apple社製コンピュータおよびビデオチャットアプリケーションiChatを用いて動画表示装置とした。インターネット回線はOCN光アクセスBフレッツを用い、回線の実

効速度は 30 Mbps 程度であった。

運用に先立ちテスト用ビデオ画像を上記システムで転送し、複数の小児循環器専門医師によって画質が診断可能なレベルにあることを確認した。

インターネットを介した情報の送信は個人情報を入力しない心エコー動画像のみとし、患児の身体所見を含む個人情報は同時に接続する通常の電話を用いて音声で行った。

機材を設置後、国立循環器病センターの小児循環器専門医師が送信側の NICU へ出向き、心エコー装置の使用法、診断に必要な基本断面およびカラーフローマッピング、血流速度の測定について実施指導した。特に上腹部から胸骨左縁を通して頸部まで、横断面を Computed Tomography (CT) の様に描出する方法「横断面連続スキャン方式」を遠隔診断の基本画像とした。NICU での心エコー実施者は新生児科医師であり心エコーの専門的トレーニングは受けていなかった。

受信側の国立循環器病センターでは、通常の勤務時間内は新生児心疾患担当の小児循環器専門医師 3 人で対応し、時間外は小児循環器診療部当直医師が対応することとして 24 時間体制を敷いた。

具体的には、NICU で心疾患を疑い小児循環器専門医師による心エコー診断が早急に必要と判断した新生児

がいれば、国立循環器病センター小児循環器診療部の担当医師に電話連絡して双方が機器の準備をした。電話による音声で双方向通信しながら、NICU が発信する心エコー動画像をみて診断をし、緊急搬送を含む初期治療方針についてアドバイスをを行った。児の両親には遠隔診断実施と相前後して口頭による説明と同意、承諾を得た。

遠隔診断の評価については、遠隔診断後に当センターに転院となった患児は転院時に、転院しなかった患児については当科の小児循環器専門医師が NICU に出向いて確定診断を行った。それぞれの症例について、遠隔診断の有用性を評価検討した。

【結果】

転送された動画像は、診断にあたった国立循環器病センターの小児循環器専門医師全員が通常的心エコーとほぼ変わらない精細さで動きもスムーズであると評価した。画像の劣化や乱れはわずかで診断に影響を与えないレベルであった。

対象とした新生児 6 例を Table 6 に示す。出生体重は 2778 ± 540 g (平均 $\pm$ 標準偏差)、出生週数は 37.5 ± 1.5 で、 2.2 ± 1.2 day で遠隔診断を実施した。心疾患を疑った所見は、心雑音とチアノーゼがそれぞれ 3 例 (50%)、呼吸困難が 2 例 (33%) であった。またダウン症候群の合併は 1 例 (17%)、

帝王切開による出生は2例(33%)。新生児仮死の合併はなかった。

遠隔診断の実施はスムーズで、送信側医師の電話連絡から受信側医師の画像表示コンピュータへの移動を含めて遠隔診断開始まで5分程度であった。画像表示から診断までに要した時間は10分程度であった。回線やコンピュータのトラブルはなく、また診断に障害を与える様な画像の乱れはなかった。また全例とも遠隔診断施行にあたって鎮静剤などは使用しなかった。

遠隔診断結果をTable 7に示す。いずれの診断も容易で特に困難な点はなかった。6例すべてに先天性心奇形が認められ、比較的単純な疾患は心室中隔欠損の1例のみであった。Patient 3および5はそれぞれ大動脈縮窄合併、重症肺動脈狭窄と診断し、いずれもプロスタグランジン E1 持続静注下に酸素を使用せずルームエアで管理して国立循環器病センターへ緊急搬送することを助言した。またPatient 6は総肺静脈環流異常還流異常(上心臓型)と診断し、肺静脈狭窄症状を呈していると判断して緊急搬送を勧告した。他の3例は共通房室弁口、ファロー四徴、心室中隔欠損と診断し、緊急搬送の必要はないと判断、予定転院または外来受診を勧めた。いずれの症例も遠隔診断実施時には、ル

ームエアでの管理を助言した。

最終的に全6例が国立循環器病センターに転院し確定診断された。確定診断結果と遠隔診断との違いをTable 8に示す。Patient 3の右側相同(無脾症候群)、心臓型総肺静脈環流異常、両側上大静脈、右鎖骨下動脈起始異常は遠隔エコー時には診断されなかった。遠隔診断実施時に大動脈縮窄合併を診断、体血流が動脈管依存であることを確認し、速やかにプロスタグランジン E1 持続を開始し、酸素を使用せずルームエアで管理して国立循環器病センターへ緊急搬送することを勧告した。このため遠隔診断は途中で切り上げて、双方が緊急搬送入院へ向けて準備を始めた。搬送後の心エコーで確定診断し、待期的に大動脈再建手術および肺動脈絞扼手術を施行した。またPatient 6の総肺静脈環流異常は混合型であった。遠隔診断時は呼吸困難症状があったため、共通肺静脈から無名静脈への垂直静脈を認めた時点で上心臓型総肺静脈環流異常による肺静脈閉塞を疑って遠隔診断を終了し、緊急手術を念頭に緊急搬送の準備を開始した。搬送後の心エコーでは、共通肺静脈は冠静脈洞にも開口しており肺静脈狭窄所見はなく、呼吸困難は新生児一過性多呼吸によるものと判断した。緊急手術の必要性はないと判断し経過観察した。

他の4例は遠隔診断と確定診断に差異はなかった。Patient 1は次第に高肺血流が進行し、待期的に肺動脈絞扼手術を施行した。Patient 2, 4は緊急処置を必要とせず経過観察となった。

3. 胎児心エコー疑似遠隔診断

【方法】

2008年1月から12月の間に、胎児心疾患を疑われて国立循環器病センターに紹介され、胎児心エコー検査を受けた後に同周産期診療部で出生した新生児のうち、同小児循環器診療部に転科して確定診断された先天性心奇形19例を対象とした。

国立循環器病センターにおける胎児心エコー検査は臨床検査技師が担当し、RGB信号として出力されたリアルタイム動画像を別室の大画面モニターに表示した。産婦人科医師、新生児科医師、小児循環器科医師が同席してリアルタイム動画像を検討し、疑似遠隔診断を施行した。

胎児の上腹部から頸部まで、横断面をComputed Tomography (CT)の様に描出する方法「横断面連続スキャン方式」を疑似遠隔診断の基本画像とした。

またDVD録画した動画像を、Apple社製iChatとOCN光アクセスBフレッツを用いたインターネットによるリ

アルタイム動画転送システムで転送して、画質を評価し遠隔診断の可能性を検討した。

インターネットによるリアルタイム胎児心エコー動画転送実験には汎用ビデオチャットアプリケーションを用いた。具体的には、心エコー装置から出力される画像をDVD録画し、この再生動画像をCanopus ADVC110を用いてデジタル変換しApple社製コンピュータに入力した。Apple社製ビデオチャットアプリケーションiChatを使用し、インターネット網を通じて送信した。受信側では、Apple社製コンピュータおよびビデオチャットアプリケーションiChatを用いて動画表示装置とした。インターネット回線はOCN光アクセスBフレッツを用い、回線の実効速度は30Mbps程度であった。

実験に先立ちテスト用経胸壁心エコービデオ画像を上記システムで転送し、複数の小児循環器専門医師によって経胸壁心エコーでは画質が診断可能なレベルにあることを確認した。

インターネットを介した情報の送信は個人情報を入力しない胎児心エコー動画像のみとした。

【結果】

胎児心エコー疑似遠隔診断の実施はスムーズでトラブルはなく、診断に障害を与える様な画像の乱れは認められなかった。

対象とした新生児19例のプロフィールを表1に示す。男女比は10対9、全例とも院内出生のため日齢0で入院した。胎児心エコー疑似遠隔診断は 30.8 ± 3.9 週（平均 $\pm$ 標準偏差）で施行された。出生週数は 38.0 ± 1.8 、出生体重は 2552 ± 664 gで、11例（58%）が帝王切開による出生であった。アプガースコアは、1分値 7.7 ± 1.5 、5分値 8.3 ± 1.0 であった。

胎児心エコー疑似遠隔診断結果と出生後確定診断を表2に示す。いずれの診断も特に困難な点はなかったが、通常の胎児心エコーと同様に、1例の検査に30分から1時間を要した。「横断面連続スキャン方式」は胎児心エコーにおいても空間的立体的把握が容易であった。

胎児心エコー疑似遠隔診断と出生後確定診断とを比較検討すると、症例6、11、16、17、19で相違点が認められた。

症例6と症例11は胎児心エコー疑似遠隔診断で両大血管右室起始とされたが、出生後確定診断ではファロー四徴とされた。いずれも胎児心エコー疑似遠隔診断時に大動脈弁と僧帽弁の連続性を認めなかったことによる。

症例16は胎児心エコー疑似遠隔診断で房室中隔欠損と診断された。出生後診断でも房室中隔欠損は変更なかったが、動脈管閉鎖が得られなかった

ことが相違点であった。

症例17は出生前に大動脈弁狭窄、大動脈縮窄とされたが、生後は僧帽弁軽度狭窄および軽度左室低形成のため、左心低形成症候群の範疇に入ると判断された。

症例19は心大血管構造の把握に相違はなかったが、出生前には右側相同を診断していなかった。

なお症例18の診断については、出生前の大動脈弓低形成が出生後の大動脈縮窄に変更されたが、縮窄を伴う低形成な大動脈弓であり、表現方法の相違だけであった。

またインターネットによるリアルタイム動画伝送システムで伝送した胎児心エコー動画は、精細な画質でスムーズな動きを示した。カラーフローマッピングについても満足のゆく画質であった。ノイズの発生を認める事もあったが、診断には影響しない程度であると判断した。

現在のiChatシステムではリアルタイム伝送された動画を、システムの最高解像度で保存することはできない。このため、動画を見直す時には画質の劣化が感じられたが、スクリーニング的な使用には問題ない程度であった。

【考案】

これまで小児循環器領域における

心エコー動画像伝送による遠隔診断の報告は ISDN 回線によるものがほとんどであった¹⁻⁹⁾。ISDN は、交換機・中継回線・加入者線が全てデジタル化された、パケット通信・回線交換データ通信にも利用できる公衆交換電話網である。そのセキュリティは高いとされているが、通信速度は 64 kbps が基本単位で通常は 1 回線 2 チャンネルで 128 kbps である。この ISDN を 1 回線のみ使用したリアルタイム心エコー遠隔診断の報告もあるが⁹⁾、多くの報告は 3 回線を同時使用して 384 kbps の通信速度を確保している^{3,4,6,7)}。我々の施設でも ISDN を 3 回線同時使用して、心エコーや心臓カテーテル検査の動画像を用いたテレビカンファレンスを行っているが、画像の動きはぎこちなくブロックノイズが出現している。Houston らは新生児の心エコー動画像転送時の ISDN 回線数について研究し、3 回線以上が必要で 6 回線使用すると直接施行する心エコー画像と差がないとしている²⁾。また ISDN を 24 基本単位使用した 1.544 Mbps の T1 line を使用した報告もある¹⁰⁾。

我が国では ISDN は 1 回線でアナログ電話と同様の設備費、通信費が必要であり、これを多回線維持し日常的に使用するのには比較的高額な費用が必要である。一方で光ファイバーなどを用いた高速インターネット回線が

急速に普及し、設備費用も著しく低下した。その通信速度はベストエフォートで 100 Mbps に達しており、通信費用もアナログ電話や ISDN と比して高額ではなく固定制である。セキュリティの問題も VPN 機能の発展により解決されつつあり、高速インターネット回線の優位性が明らかになってきている。

最初に使用した SSD- α 10 REINS Gate システムは、精細な動画像の送受信を安定して行うことができた。このシステムはフルデジタルで時間方向の圧縮を伴わない配信方法を採用しており、受信動画像は通常の直接心エコー検査時の動画像に比して目視では差がわからないほど精細かつ滑らかな動きを示し、循環器専門医師間のカンファレンスにも十分使用できるレベルであった。パケット通信実験でも安定した結果がでており、光ファイバーを用いた高速インターネット回線は心エコー動画の送受信に十分な情報伝達経路であると思われた。また送受診装置の操作方法も簡便で、短時間の説明で誰もが使用できた。

問題点は、専用心エコー装置と大容量のインターネット回線が必要なことにある（ALOKA 社は実効速度 20Mbps 以上の高速回線を勧告している）。目的である「新生児科医師が心エコーを操作し、短時間の遠隔診断で

初期治療方針を決定する」には十分すぎる能力であり、むしろ動画の精細さや動きの滑らかさは低下しても、現時点で NICU が保有する心エコー装置を用いて、低容量のインターネット回線でも動画による遠隔診断ができる方式を確立することが、マンパワー不足の小児循環器医療には必要と思われた。

次に使用した iChat システムでも、動画像の送受信を安定して行うことができた。通常の直接心エコー検査時の動画像とほぼ同様の動画像を得ることができ、その画像の差は診断に影響はでない程度のものであると判断した。光ファイバーを用いた高速インターネット回線は心エコー動画の送受信に十分な情報伝達経路であると思われた。また iChat システムの操作方法も簡便で、短時間の説明で誰もが使用できた。目的である「新生児科医師が心エコーを操作し、短時間の遠隔診断で初期治療方針を決定する」には十分な能力であった。今後は動画の精細さや動きの滑らかさは低下しても、電話回線の様なさらに低容量のインターネット回線でも動画による遠隔診断ができる方式を確立することが、マンパワー不足の小児循環器医療には必要と思われた。

対象の 14 例は全例が心奇形を伴っていた。これまでの遠隔心エコー診断

の報告は、検査総数は多いが心病変は少数にしか存在しなかった^{1,3,4,6,7)}。今回の結果は、遠隔診断の対象患児を選別した新生児科医師の臨床能力が高いことを示していると思われた。我が国には NICU を持つ医療施設が数多く存在する。それぞれの NICU に遠隔診断対象を選別できるレベルの新生児科医師がいれば、1つの小児循環器専門施設で数多くの NICU をカバーすることができる可能性が示唆され、今後の展開が期待される。

診断精度は十分満足できるもので、確定診断との差異は治療方針に悪影響を与えないものであった。iChat システムでの Patient 3, 6 ともに遠隔エコーをさらに 10 分程度続ければ、正確な診断に至ったものと思われた。しかし全身状態や緊急手術の可能性を考え、途中で遠隔エコーを中止して緊急搬送に踏み切ったことは誤りではなかったと判断している。なお Patient 6 については、遠隔診断を希望する電話連絡から緊急搬送を勧告するまで、診断医師の移動や機器の準備を含めても 5 分未満であった。

今回は事前に小児循環器部医師が NICU に出向いて心エコーの指導を行った。一般的教科書的な方法ではなく、我々の施設で用いている「横断面連続スキャン方式」を中心に指導した。体軸に直行する横断面を、上腹部胸骨下

より胸骨上窩まで連続的にスキャンする方式で、体部 CT と同様の断面での動画像を描出する。新生児はエコービームが良好に通るため胸骨の上からでも、エコー画像が得られる。僅かに胸骨をはずしてスキャンすればさらに良好な画像が得られる。また胸腺が発達しているため胸骨上部周囲からもエコーが良好に入り画像も良好である。

横断面連続スキャン方式は、我々の施設で新生児入院時に行っている心エコー診断法であり、区分分析法による心奇形の総合的な形態診断が得やすい。受信側の医師がこの方式に慣れる必要はあるが、送信側の医師には特別なトレーニングは必要なく、今回の研究でもストレスなく遠隔診断が可能であった。

教科書的な四腔断面像や左室長軸像、左室短軸像は良好な描出にある程度のトレーニングが必要であり、描出断面が正確でないと誤った判断をすることがある。電話による口頭指示で教科書的な断面を正確に出せる医師には、むしろ遠隔診断は必要ないのかも知れない。

カラーフローマッピングについて、心室中隔欠損や心房中隔欠損などでの短絡や弁逆流の診断に有用であったことは予測されたとおりで、大動脈縮窄や大動脈離断の有無を遠隔診断

する上でカラーフローマッピングは必要不可欠であった。大動脈弓はその形態描出にかなりのトレーニングを要し、大動脈縮窄や離断の診断は小児循環器専門医でも難しいことがある。また、これらの疾患群は緊急処置、緊急手術を要するが多く、誤診断は生命危機に直結する。今回の遠隔診断でも、大動脈弓の診断に最も注意をした。具体的には以下の近位部（正確な描出にはかなりのトレーニングを要するため近位部と表現した）でのカラーフローマッピング表示を電話で指示して、受信側医師が判断した。すなわち大動脈弁、大動脈峡部、腹部大動脈、動脈管、肺動脈分岐部である。小児循環器専門医がこれらの情報を総合的に判断すれば、緊急処置や緊急搬送が必要な新生児の抽出は比較的容易である。

遠隔診断がなされなかった場合、対象患児はいずれも緊急もしくは準緊急で国立循環器病センターへ搬送入院となった症例であったと思われる。これまで、NICU では確定診断ができないため患児の急変や不利益を心配して緊急搬送を希望し、当科でも初期治療の遅れによる重体化を懸念して緊急搬送を勧めてきた。今回の研究では、実際に緊急搬送した症例は5例であり、他の9例では余裕をもってその後の診療が行えた。また遠隔診断に要する時間は回線が接続されてから

10分程度であり、その準備も5分程度であった。遠隔診断が普及すれば緊急搬送の頻度が減少し、患児や家族にとってだけでなく NICU や小児循環器施設のスタッフにとっても心理的、時間的、経済的負担が減少する可能性が示唆された。

最終年度に施行した胎児心エコー疑似遠隔診断の診断精度は十分満足できるもので、確定診断との差異は治療方針に悪影響を与えないものであった。

症例 6 と症例 11 は胎児心エコー疑似遠隔診断で両大血管右室起始とされたが、出生後確定診断ではファロー四徴とされた。いずれも胎児心エコー疑似遠隔診断時に大動脈弁と僧帽弁の連続性を認めなかったことによるものであり、新生児心エコー遠隔診断でも同様の差異があった。いずれも血行動態の把握は正確で診療上の問題にはならない。

症例 16 は出生後も動脈管閉鎖が得られなかったことによる。症例 17 は左心低形成症候群の概念をどうとらえるかと関係する。

症例 19 は右側相同を診断していなかった。十分に診断可能であったと思われる。今後の注意点である。

我が国には胎児心エコー検査装置を持つ医療施設が数多く存在する。それぞれの医療施設に遠隔診断対象を選

別できる胎児心エコー操作者がいれば、1つの小児循環器専門施設で多施設をカバーすることができる可能性が示唆され、今後の展開が期待される。

【結語】

インターネットを用いた心エコー動画リアルタイム伝送システムによる新生児心疾患の遠隔診断を行った。システムの運用は簡便でトラブルはなかった。診断は正確で初期治療を決定するのに十分であり、緊急搬送、緊急処置が必要な症例の選択が確実にできた。今後は胎児心エコーへの応用可能性もある。

【参考文献】

- 1) Mulholland HC, Casey F, Brown D, et al: Application of a low cost telemedicine link to the diagnosis of neonatal congenital heart defects by remote consultation. Heart 1999; 82: 217-221
- 2) Houston A, McLeod K, T Richens, et al: Assessment of the quality of neonatal echocardiographic images transmitted by ISDN telephone lines. Heart 1999; 82: 222-225
- 3) Tsilimigaki A, Maraka S, Tsekoura T, et al: Eighteen months' experience with remote diagnosis, management and education in

- congenital heart disease. J Telemed Telecare 2001; 7: 239-243
- 4) Sable C, Cummings S, Pearson G, et al: Impact of telemedicine on the practice of pediatric cardiology in community hospitals. Pediatrics 2002; 109:e3
- 5) Milazzo AS Jr, Herlong JR, Li JS, et al: Real-time transmission of pediatric echocardiograms using a single ISDN line. Comput Biol Med 2002; 32: 379-388
- 6) Widmer S, Ghisla R, Ramelli GP, et al: Tele-echocardiography in paediatrics. Eur J Pediatr 2003; 162: 271-275
- 7) Justo R, Smith AC, Williams M, et al: Paediatric telecardiology services in Queensland: a review of three years' experience. J Telemed Telecare 2004; 10: S1: 57-60
- 8) Casey F: Telemedicine in paediatric cardiology. Arch Dis Child 1999; 80: 497-499
- 9) Sable C: Digital echocardiography and telemedicine applications in pediatric cardiology. Pediatr Cardiol 2002; 23: 358-369
- 10) Randolph GR, Hagler DJ, Khandheria BK, et al: Remote telemedical interpretation of neonatal echocardiogram: impact on clinical management in primary care setting. J Am Coll Cardiol 1999; 34: 241-245

Table 1. Packet loss at tests of tele-echocardiography

	Test 1: 609 seconds	Test 2: 788 seconds	Test 3: 723 seconds
Received packets (per second)			
Mean	2821	2820	2820
Standard deviation	40	21	19
Median	2820	2820	2820
Minimum	2726	2726	2726
Maximum	3616	2910	2882
Packet loss (per second)			
Mean	0.32	1.78	1.42
Standard deviation	1.11	6.04	4.70
Median	0	0	0
Minimum	0	0	0
Maximum	16	88	54

Table 2. Patients characteristics

Case	Body weight at birth (g)	Gestational age at birth (weeks)	Age at tele-diagnosis (day)	Indication for tele-echocardiography	Down syndrome	Asphyxia neonatorum
1	2815	39	5	Heart murmur, Cyanosis	yes	no
2	2240	39	2	Cyanosis	yes	yes
3	3244	41	2	Heart murmur, Tachypnea	no	no
4	2298	41	3	Heart murmur, Cyanosis	no	no
5	2992	39	2	Heart murmur, Cyanosis	no	no
6	1986	37	3	Heart murmur	yes	yes
7	2770	37	3	Heart murmur	yes	no
8	2870	40	1	Cyanosis	no	no

Table 3. Packet loss at tele-echocardiography of case 4

Required time for diagnosis (second)	729
Received packets (per second)	
Mean	2820
Standard deviation	31
Median	2820
Minimum	2643
Maximum	3088
Packet loss (per second)	
Mean	8.2
Standard deviation	8.1
Median	6
Minimum	0
Maximum	56

Table 4. Tele-diagnosis and recommendation

Case	Tele-diagnosis	Recommendation		
		Management in room air	CIV of PGE1	Transfer
1	TOF	no	no	Elective
2	CAVC(C), PDA, PH	yes	no	Elective
3	CoA, VSD, PDA, PFO, PH	yes	yes	Urgent
4	DORV(subaorticVSD), infundibularPS, PLSVCtoCS	no	no	Elective
5	AVD, DORV, VSD, ASD, PS	no	no	Elective
6	CAVC(C), PDA, PH	yes	no	Elective
7	VSD, PFO, PH	yes	no	Elective
8	cPS, PDA, PFO, PH	yes	yes	Urgent

CIV: continuous intravenous infusion, PGE1: prostaglandin E1, TOF: tetralogy of Fallot, CAVC: common atrioventricular canal, PDA: patent ductus arteriosus, PH: pulmonary hypertension, CoA: coarctation of aorta, VSD: ventricular septal defect, PFO: patent foramen ovale, DORV: double outlet right ventricle, PS: pulmonary stenosis, PLSVC: patent left superior vena cava, CS: coronary sinus, AVD: atrioventricular discordance, ASD: atrial septal defect, cPS: critical PS

Table 5. Definitive diagnosis and discrepancy

Case	Age at definitive	Definitive diagnosis	Discrepancy between tele-diagnosis and definitive
1	17	TOF, AORSCA	AORSCA missed
2	4	CAVC(C), PH	Ductus arteriosus closed at definitive diagnosis
3	2	CoA, VSD, PDA, PFO, PH	None
4	5	TOF, PLSVCtoCS	Continuity between AV and MV missed
5	2	AVD, DORV, VSD, ASD, P:	None
6	20	CAVC(C), PDA, PH	None
7	7	VSD, PFO, PH	None
8	2	cPS, PDA, PFO, PH	None

TOF: tetralogy of Fallot, AORSCA: aberrant origin of right subclavian artery, CAVC: common atrioventricular canal, PH: pulmonary hypertension, CoA: coarctation of aorta, VSD: ventricular septal defect, PDA: patent ductus arteriosus, PFO: patent foramen ovale, DORV: double outlet right ventricle, PLSVC: patent left superior vena cava, CS: coronary sinus, AVD: atrioventricular discordance, ASD: atrial septal defect, PS: pulmonary stenosis, AV: aortic valve, MV: mitral valve, cPS: critical PS

Table 6. Patients characteristics

Patient	Body weight at birth (g)	Gestational age at birth (weeks)	Age at tele- diagnosis (day)	Indication for tele-echocardiography	Down syndrome	Asphyxia neonatorum	C-section
1	2366	37	1	Down syndrome	yes	no	yes
2	3305	37	3	Heart murmur	no	no	no
3	1900	35	1	Cyanosis	no	no	no
4	3160	39	4	Heart murmur, Dyspnea	no	no	no
5	3072	39	2	Heart murmur, Cyanosis	no	no	no
6	2866	38	2	Cyanosis, Dyspnea	no	no	yes

C section=Caesarean section

Table 7. Tele-diagnosis and recommendation

Case	Tele-diagnosis	Recommendation		
		Management in room air	CIV of PGE1	Transfer
1	CAVC (typeC), PDA, PH	yes	no	Elective
2	TOF, RAA	no	no	Elective
3	Dex, MA, VSD, TGA, CoA, PDA, PH	yes	yes	Urgent
4	VSDperi, PH	yes	no	Elective
5	critical PS, PDA, ASD, PH	yes	yes	Urgent
6	TAPVC supracardiac (1a)	yes	no	Urgent

CIV=continuous intravenous infusion, PGE1=prostaglandin E1, CAVC=common atrioventricular canal, PDA=patent ductus arteriosus, PH=pulmonary hypertension, TOF=tetralogy of Fallot, RAA=right aortic arch, Dex=dextrocardia, MA=mitral atresia, VSD=ventricular septal defect, TGA=transposition of great arteries, CoA=coarctation of aorta, PS=pulmonary stenosis, ASD=atrial septal defect, TAPVC=total anomalous pulmonary venous connection