

原 著

ワイヤレス 12 誘導心電図伝送による
院外心電図伝送の試み西川 豪^{*1}, 野々木 宏^{*2}, 森 典子^{*1}, 松尾陽子^{*1}
清水史郎^{*3}, 小田敏子^{*4}, 土井 修^{*2}, 神原啓文^{*2}

要 旨

ワイヤレス 12 誘導心電図伝送「富士山(ふじやま)」を開発し、プレホスピタルから専門病院への伝送の有用性を検討するため実証実験を行った。

方法：小型心電計から Bluetooth 方式でスマートフォンへ心電図データを送信、画像ファイルを送送するシステムを用い心電図を走行車両から伝送、さらに各種施設から病院専門医へ伝送し、伝送前後の比較を行った。

結果：伝送前後の心電図は変化なく、伝送時間も 7~95 秒(中央値 23 秒)で遅延はなかった。院外伝送 24 例では家電からのノイズ 1 例以外は質の高い伝送が得られた。ワイヤレス 12 誘導心電図は小型、軽量で様々な医療現場での活用が期待される。

緒 言

心電図伝送の試みは、以前から報告され実用化されているが、特殊な装置が必要であり、また 1 誘導の心電図モニターの伝送であり、その普及は進んでいない。

一方、急性冠症候群、特に ST 上昇型急性心筋梗塞における 12 誘導心電図による判断は、急性期診療に不可欠である。発症から再灌流療法までの時間短縮を目的として、AHA/ACC ガイドライン¹⁾や蘇生に関する国際蘇生コンセンサス²⁾で推奨されているように、急性冠症候群患者に対してプレホ

スピタルで 12 誘導心電図を記録し、事前に専門病院へ伝送することが勧告されている。我が国の JRC(日本蘇生協議会)蘇生ガイドライン 2010 においても同様の勧告がなされている³⁾。

我々が開発したモバイルテレメディシン⁴⁾をはじめ、インターネットを用いた伝送方法や、Fax を使用したもので様々な試みが行われ、伝送することにより約 30 分の治療開始までの時間短縮が報告されている⁵⁾。しかし、救急車への搭載の簡便さやコスト面の課題のため、なお十分に普及したとは言い難い。今回、更に利便性、小型化、汎用性を検討し、ワイヤレス小型 12 誘導心電計から Bluetooth 方式でスマートフォンへ心電図データを送信し MFER/JPEG ファイルに変換、その心電図の画像ファイルを目的の E メールアドレスへ伝送するシステムであるワイヤレス 12 誘導心電図伝送「富士山(ふじやま)」を開発し、その実証実験を行ったので報告する。

方 法

心電図計は、AndroidOS を搭載したスマートフォン・タブレット対応の小型ワイヤレス 12 誘導心電図計(Cardiospy Mobile)を用いた(図1)。被験者に装着された小型 12 誘導心電計から Bluetooth 方式で送信された心電図信号が、専用ソフトをインストールされた心電図表示端末であるスマートフォンへ伝送され心電図が表示される。操作者は心電図を監視することが可能で、静止画像を選択して、電子メールに添付する画像としてコンピュータネットワークを経由して伝送開始する。心電図はデジタル波形標準圧縮方法である MFER あるいは

*1 静岡県立総合病院腎臓内科

*2 同 循環器内科, *3 同 地域医療ネットワークセンター

*4 訪問看護ステーションマザー

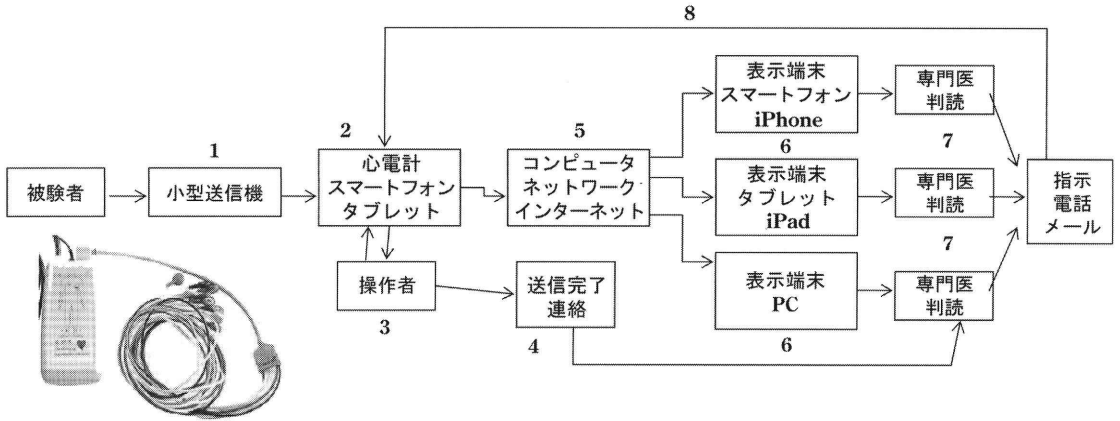


図1 小型ワイヤレス 12 誘導心電計のシステム構成図

小型心電計から医療機関までの伝送システムを示す。

被験者に装着された小型送信機(70mm×125mm×厚み 38mm) #1 から心電信号が、専用ソフトをインストールされた心電図表示端末(スマートフォン, タブレット) #2 へ Bluetooth で伝送され、心電図が表示される。

操作者 #3 は心電図を監視し、必要な場面でその情報を #5 で 5 秒間の静止画像 JPEG/MFER のいずれかに変換して E メールで指定の #6 の表示端末メールアドレスへ伝送する。

操作者 #3 は伝送完了後、送信完了 #4 の連絡を #7 の専門医に電話する。

専門医 #7 は伝送された心電図 #6 を判読し、院内対応が必要なケースでは目的の医師、場所へ指示を出す。院外対応が必要なケースでは、操作者 #3 へ指示 #8 を電話かメールで連絡する。操作者 #3 は専門医からの指示 #8 のもとに被験者への対応を実施する。

複数同時伝送する場合には、メインアドレスのプロバイダーで転送先を指定する。

は画像ファイルの JPEG に自動変換され、目的の E メールアドレスの表示端末に伝送される。

A. 基礎検討

ワイヤレス心電図を走行中の車両から伝送し、揺れや体動、高速運転の影響、伝送時間、心電図の伝送前後の比較を検証した。一般道 60km/h、高速道 80km/h の条件下においてボランティアの被験者の 12 誘導心電図をモニターし、その記録を JPEG 伝送し、以下の検討試験を行った。伝送時間、車の振動の影響、体動(胸骨圧迫施行時、血圧測定中、体の回転時)の影響を検討した。

B. 様々な実臨床での実証検討

一次救急施設、診療所、在宅血液透析患者宅、訪問看護先から計 24 例の 12 誘導心電図を病院専門医へ伝送した。記録者は、医師、看護師、一部在宅では患者本人もしくは患者家族であった。心電図を記録し、送信前後での心電図比較、伝送心電図の判読における問題点を検証した。専門医による判読結果は、同じスマートフォンによる電子メールで送信者へ回答した。異常心電図であった場合には、電話での緊急性の確認を行った。専門医により判読可能な心電図が伝送された場合を正

常伝送とし、正常伝送の割合を伝送率として解析した。伝送時間の検討では、統計値を中央値で表わした。

倫理的な検討：12 誘導心電図には個人情報に記載せず、またスマートフォンはパスワード管理を行い、個人情報の保護を行った。また、実証検討では、対象者に試験の内容を説明し文書での同意を取得した。以上の方法について、静岡県立総合病院臨床研究倫理委員会での承認を得た(倫 12-01-51)。

結 果

A. 基礎検討

伝送前後での心電図は変化無く、判読可能な心電図が伝送された(図2)。一般道と高速道路での車両の揺れは心電図基線に影響しなかった(図3)。また、車両内での体動、血圧測定、胸部圧迫などの影響も、基線の揺れは一部見られたが、リズムや ST 変化の判読に支障は来たさなかった(図4)。伝送時間は画像サイズ 250~350 KB の伝送でスマートフォンの 2 機種において 7~95 秒(中央値 23 秒)で、緊急時の判読には支障はなかった。

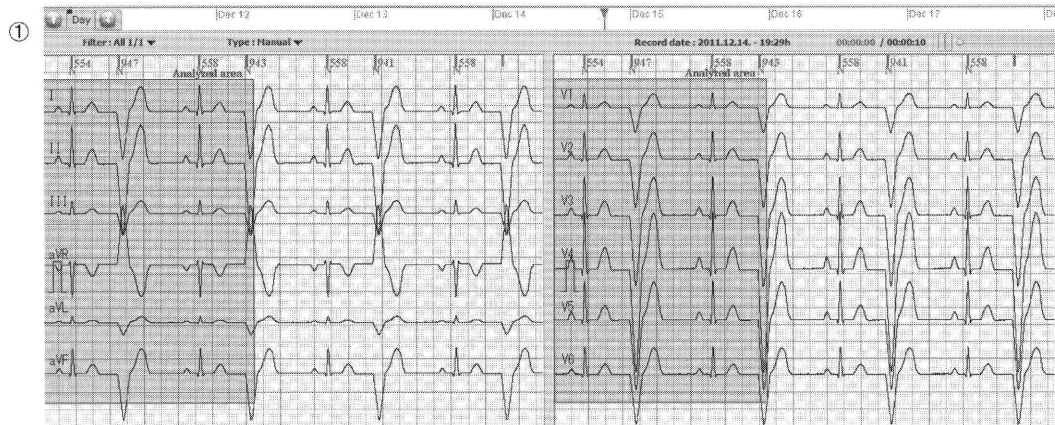


図2 伝送前と伝送後の心電図
 上段①が伝送前の心電図，下段②が伝送後の心電図で，前後で変化はない。

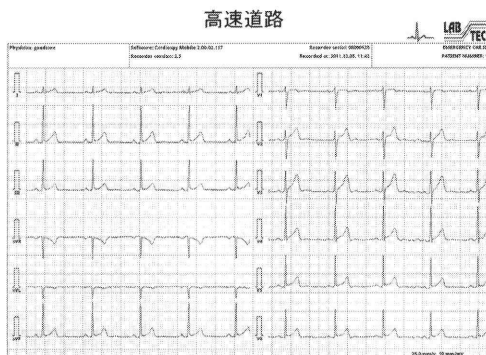
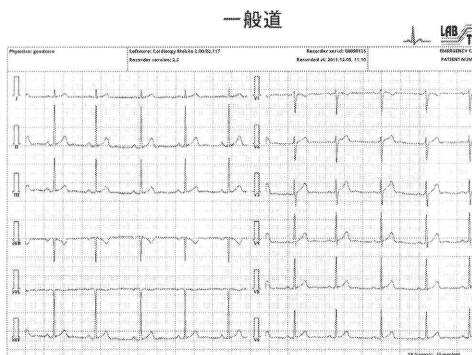


図3 車両走行中の心電図，一般道と高速道路

走行中の車両からの伝送心電図で，一般道と高速道で車両の揺れの影響は見られない。

一般道(左図)：50km/h 走行 250~350 KB の容量で GALAXYsII を介してへ伝送，伝送時間は iPhone ~ 23~95 秒，通常パソコン(PC) 20~30 秒であった。高速道路(右図)：80km/h 走行 250~350 KB の容量で GALAXYsII を介して伝送，伝送時間は iPhone 17~25 秒，PC 20~38 秒であった。

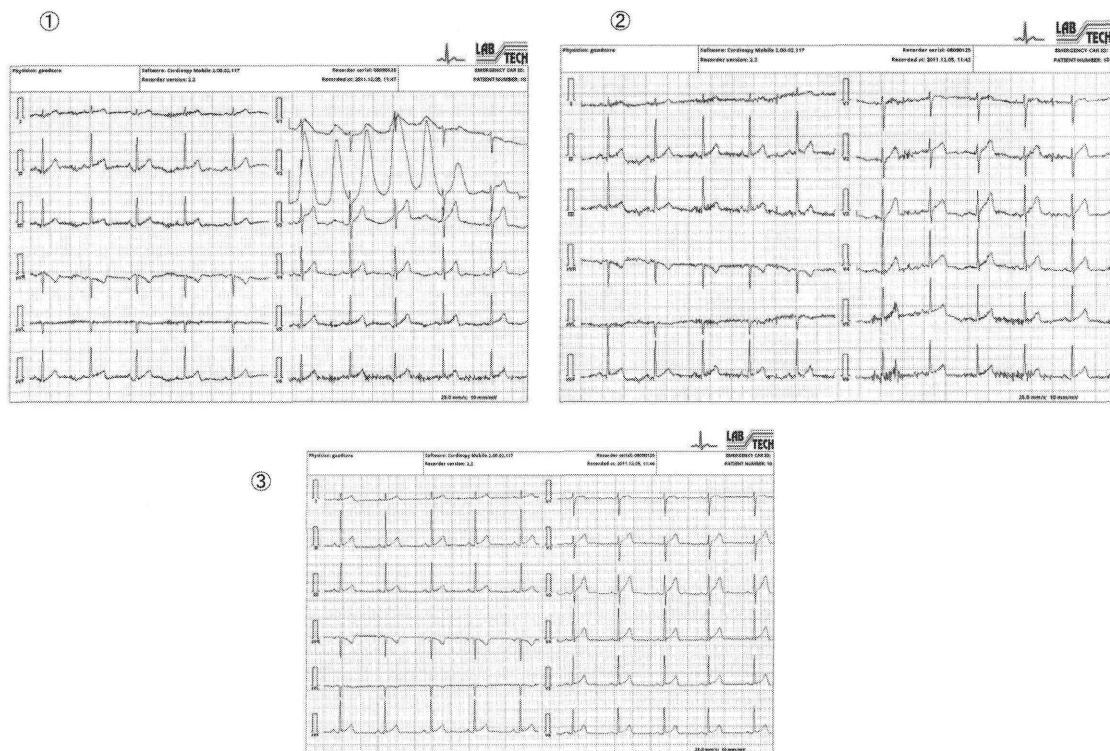


図4 体動の影響

走行車両から伝送し、車内での体動の影響を検証した。胸骨圧迫①、身体の回転②、血圧測定③
 車両内での被験者体動の影響では、直接胸部を圧迫した誘導の揺れがあるが、その他の誘導では影響はなく、判読可能である。

B. 実地での検証(図5)

各施設からの 24 例(休日夜間救急施設 4 例, 遠隔地域診療所 5 例, 在宅透析患者宅 4 例, 訪問看護 11 例)の心電図伝送では、在宅での家電ノイズ例 1 例を除くと質の高い伝送心電図が得られ、心房細動 1 例, 虚血性 ST 変化 1 例, T 変化 2 例, 右室負荷疑い 2 例, 左室肥大 1 例, 右脚ブロック 2 例, 正常心電図 14 例であった。ノイズが混入した症例は伝送には成功し正常心電図と判読は可能であるが、基線にノイズがあるため、正常に伝送できていないと判定し、伝送率は 96%とした。それ以外の 23 例の心電図は診断に十分耐えうるものであった(代表例を図5に示す)。また同じスマートフォンを用いて、専門医から判読結果を電子メールで回答した。在宅での 1 例は家電製品装着中であることが判明し、心房細動例, 陳旧性心筋梗塞例, 急性右室負荷の疑い 2 例の 4 例では電話で緊急性の確認を行い、心電図伝送とその後の結果返送と経過確認が同じスマートフォンで可能で有り

有用であった。伝送時間は 1~29 分(中央値 1 分)であり、2 例の受信遅延(それぞれ 16 分, 29 分)が認められ、回線の遅延が疑われた。

考 察

今回の検討から、小型ワイヤレス 12 誘導心電図のスマートフォンは、院外での様々な状況で伝送が可能ながことが判明し、基礎的検討から走行車両からの伝送、また救急医療、在宅、遠隔地等で使用可能であり、一部患者自身からの伝送も容易であることを確認し得た。

プレホスピタルからの心電図伝送やパラメディックや看護師の心電図判読結果を事前に通知する試みはこれまでも行われている⁵⁾。しかし、その方法は様々で有り、モニターの 1 誘導心電図を伝送する特殊な伝送装置、ファクシミリによる伝送、心電図自動診断装置の結果の通知、パラメディックや看護師へ判読トレーニングをして判読結果を事前通知するなどである。これらの試みで、特に



図5 実際の伝送心電図

- ① 訪問看護からの伝送例：1度房室ブロック，心室性期外収縮，完全右脚ブロック，V1～4のST上昇とQ波，以上の所見を伝送先へ伝え，緊急性を確認し，他院で陈旧性心筋梗塞の入院歴あり現在は安定していることを確認した。
- ② 救急診療所からの伝送例：右軸偏位，Is，IIIq，陰性Tが認められ，伝送先へ肺血栓塞栓症などの右室負荷の除外を依頼した。
- ③ 遠隔地診療所からの伝送例：基線にノイズがあったが，判読可能例。心房細動でV1～3のR波減高が認められ，急性の変化が伝送先に確認した。

事前通知の効果が報告されたのが，ST上昇型心筋梗塞(STEMI)に対する再灌流療法までの時間短縮効果である⁶⁾。伝送しない群に比較し事前に通知する群では，再灌流療法までに約30分の時間短縮が得られている。一方，これまでのSTEMIに対するガイドライン勧告では，再灌流療法までの時間を短縮することで転帰改善効果が明らかのため，病院到着からカテーテル治療(PCI)によるバルーン拡張までの時間(door-to-balloon, D2B)を90分以内にする事が推奨されている¹⁾。しかし，実際D2Bの90分以内を達成したのは8.6%(中央値152分)に過ぎないことが報告されている⁷⁾。我が国でも2次救命施設でのD2B時間90分以内の達成率は39%である⁸⁾。そのため，新しいガイドライン勧告では，プレホスピタルからのシステム改善を

目的に，D2B時間を90分以内とする勧告から，更に最初の医療従事者との接触からPCIまでの時間を90分以内とすること，その結果発症からPCIまでの時間を2時間以内とする勧告がでた^{2,3,5,9)}。その達成のため，胸痛発生時に市民は迅速に119番通報し，救急隊は12誘導心電図を記録し，その情報を事前に専門医へ直接伝送することが勧告された。これにより，救急隊は専門医へ直接トリアージが可能となり，病院側は，患者到着前からSTEMIの診断が可能となり，事前に心臓カテーテル検査室の確保とスタッフの招集が可能となる。その結果，D2B時間90分以内の達成率が高まるとされる^{4,10~12)}。著者らが開発したモバイルテレメディシンは，車内のカメラにより傷病者の状態をリアルタイムに動画として観察が可能であり，各種

バイタル情報とともに 12 誘導心電図を救急車搬送中リアルタイムに伝送するものである¹⁴⁾。このシステムの活用により病院側は到着前に早期診断や治療に必要なデータを手で取り、D2B 時間が約 30 分短縮するものである。このように 12 誘導心電図の事前伝送には様々な方法が提案されているが、なお十分に普及していない。その課題として、狭い救急車内での 12 誘導心電図の搭載、コスト面、特殊な伝送装置の必要性、ファクシミリなどの伝送は個々の病院対象、12 誘導心電図の判読の法的な問題、病院側の設備投資や常時対応体制の必要性などがある。今回用いた 12 誘導心電図伝送の利点として、文庫本サイズと小型で配備スペースが必要なく、Bluetooth を用いたワイヤレス通信であり、救急車内でも容易にモニター観察が可能である点である。更に、小型なため救急車に搭載される必要がなく、ポータブルであるため、救急車外に持参して傷病者のベッドサイドでも可能である点、また今回検証したような循環器医のいない救急施設や診療所、さらには患者宅などでの使用を想定し、訪問看護師、在宅患者や家族など使用者に心電図操作を教育することで様々な現場で使用できる可能性がある。

伝送率に関しても、検証を行った 24 例中全例で受信され、うち 1 例のみ心電図を記録した周辺環境の影響でノイズが混入した。救急車からワイヤレス方式で、専門病院に待機する循環器医の携帯型受信機で心電図を受信した過去の報告では伝送率は 93%、92%とされ、今回の伝送実験ではノイズ混入症例を不成功とした場合でも伝送率は 96%と高く、過去の報告を上回る伝送率が得られた^{10,14)}。プレホスピタルで心電図を記録するのみでは不十分であり、病院到着後に心電図記録をするのと比べると D2B 時間は変わらなかったと報告されている¹⁵⁾。プレホスピタルで心電図を記録、それをもとに病院到着前に PCI の適応を診断した上、早期に心臓カテーテル室を準備することが有用であることが示唆され、そのためには高い伝送率を確保する必要がある。

ある報告では、STEMI の診断において、1 回の心電図記録では 84.6%しか STEMI を診断できなかったとのことである¹⁶⁾。ST 変化は超急性期に変動するため、モバイルテレメディシンのように常に

リアルタイムで心電図測定は継続し、複数回心電図を記録・伝送することで STEMI 診断の感度が高まると考えられる。今回用いたこのワイヤレス心電図計は、現場では 12 誘導を継続して観察可能であり、変化があれば容易に伝送可能なため、心電図計装着後から救急隊到着までの間心電図評価は継続することができ、STEMI の診断のみならず心筋梗塞の早期合併症である不整脈発生時に、循環器医のアドバイスに基づいた初期治療などの患者管理が可能となるだろう。

本邦では、急性心筋梗塞の治療としては PCI が選択されることが多いが、僻地や、PCI 施行が困難な状況において、今回のシステムで伝送された心電図を循環器医が診断し病院到着前に STEMI と診断されれば、PCI に先行して初期治療として血栓溶解療法を適用しながらドクターヘリで搬送ということも考えられる。実際、STEMI において PCI 施行可能病院から遠方の搬送になる場合、PCI 施行可能病院到着前の初期治療として血栓溶解療法を施行すれば予後を改善するという報告がある¹⁷⁾。

伝送時間に関しては、24 例中 2 例の受信遅延が認められたが、通信回線などの影響かと考えられる。今後、心電図の送受信がなされたか確認する方法としては、心電図伝送後、伝送した同じスマートフォンから循環器医へ直接電話確認をすることで解決すると考える。

様々な場所や場面で使用されることを想定しているが、携帯電話の電波が十分でない場所や、災害時などは携帯電話ネットワークが停止した時には本システムも停止してしまう可能性があり、今後衛星インターネットなどの通信手段の検討は必要である。また、今回の検証実験では行わなかったが、心電図を受信した循環器医より記録現場への指示やフィードバックのシステム構築も必要である。スマートフォンで、そのまま操作者は伝送完了後、送信完了の連絡を循環器医に電話し、専門医は伝送された心電図を判読した上操作者へ指示を電話かメールで連絡することは運用でのシステム構築で可能と思われる。

ま と め

今回我々が開発したワイヤレス心電図計のシステムは、急性期の双方向性の診療に役立つことが

明らかとなった。被験者と受信機であるスマートフォンの間がワイヤレスのため測定環境に影響を受けることなく心電図記録ができ、また小型、軽量であるため様々な医療現場で使用可能であり、今後の救急医療システムでの活用が期待される。

文 献

- 1) Antman EM, Hand M, Armstrong PW, et al: 2007 Focused Update of the ACC/AHA 2004 Guidelines for the Management of Patients With ST-Elevation Myocardial Infarction: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines: developed in collaboration With the Canadian Cardiovascular Society endorsed by the American Academy of Family Physicians: 2007 Writing Group to Review New Evidence and Update the ACC/AHA 2004 Guidelines for the Management of Patients With ST-Elevation Myocardial Infarction, Writing on Behalf of the 2004 Writing Committee. *Circulation* 2008; 117: 296-329.
- 2) O'Connor RE, Bossaert L, Arntz HR, et al: Part 9: Acute coronary syndromes: 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation* 2010; 122: S422-65.
- 3) JRC(日本版)ガイドライン作成合同委員会: JRC 蘇生ガイドライン 2010. 東京: ヘルス出版; 2011.
- 4) Otsuka Y, Yokoyama H, Nonogi H: Novel mobile telemedicine system for real-time transmission of out-of-hospital ECG data for ST-elevation myocardial infarction. *Catheter Cardiovasc Interv* 2009; 74: 867-72.
- 5) Ting HH, Krumholz HM, Bradley EH, et al: Implementation and integration of prehospital ECGs into systems of care for acute coronary syndrome: a scientific statement from the American Heart Association Interdisciplinary Council on Quality of Care and Outcomes Research, Emergency Cardiovascular Care Committee, Council on Cardiovascular Nursing, and Council on Clinical Cardiology. *Circulation* 2008; 118: 1066-79.
- 6) Ting HH, Rihal CS, Gersh BJ, et al: Regional systems of care to optimize timeliness of reperfusion therapy for ST-elevation myocardial infarction: the Mayo Clinic STEMI Protocol. *Circulation* 2007; 116: 729-36.
- 7) Chakrabarti A, Krumholz HM, Wang Y, et al: Time-to-reperfusion in patients undergoing interhospital transfer for primary percutaneous coronary intervention in the U.S: an analysis of 2005 and 2006 data from the National Cardiovascular Data Registry. *J Am Coll Cardiol* 2008; 51: 2442-3.
- 8) Nakayama N, Kimura K, Endo T, et al: Current status of emergency care for ST-elevation myocardial infarction in an urban setting in Japan. *Circ J* 2009; 73: 484-9.
- 9) 救急蘇生法の指針 2010 編集委員会: 改訂第4版救急蘇生法の指針 2010(医療従事者用). 東京: ヘルス出版; 2012.
- 10) Clemmensen P, Sejersten M, Sillesen M, et al: Diversion of ST-elevation myocardial infarction patients for primary angioplasty based on wireless prehospital 12-lead electrocardiographic transmission directly to the cardiologist's handheld computer: a progress report. *J Electrocardiol* 2005; 38: 194-8.
- 11) Sejersten M, Sillesen M, Hansen PR, et al: Effect on treatment delay of prehospital teletransmission of 12-lead electrocardiogram to a cardiologist for immediate triage and direct referral of patients with ST-segment elevation acute myocardial infarction to primary percutaneous coronary intervention. *Am J Cardiol* 2008; 101: 941-6.
- 12) Chen KC, Yen DH, Chen CD, et al: Effect of emergency department in-hospital tele-electrocardiographic triage and interventional cardiologist activation of the infarct team on door-to-balloon times in ST-segment-elevation acute myocardial infarction. *Am J Cardiol* 2011; 107: 1430-5.
- 13) 野々木宏: 循環器救急医療の展望とモバイルテレメディシンについて. *循環制御* 2010; 31: 113-9.
- 14) Sekulic M, Hassunizadeh B, McGraw S, et al: Feasibility of early emergency room notification to improve door-to-balloon times for patients with acute ST segment elevation myocardial infarction. *Catheter Cardiovasc Interv* 2005; 66: 316-9.
- 15) Swor R, Hegerberg S, McHugh-McNally A, et al: Prehospital 12-lead ECG: efficacy or effectiveness? *Prehosp Emerg Care* 2006; 10: 374-7.
- 16) Verbeek PR, Ryan D, Turner L, et al: Serial prehospital 12-lead electrocardiograms increase identification of ST-segment elevation myocardial infarction. *Prehosp Emerg Care* 2012; 16: 109-14.
- 17) Myers RB: Prehospital management of acute myocardial infarction: Electrocardiogram acquisition and interpretation, and thrombolysis by prehospital care providers. *Can J Cardiol* 1998; 14: 1231-40.

Novel Use of Wireless 12-lead ECG Transmission in a Prehospital Setting

Go Nishikawa*¹, Hiroshi Nonogi*², Noriko Mori*¹, Yoko Matsuo*¹,
Shiro Shimizu*³, Toshiko Oda*⁴, Osamu Doi*², Hirofumi Kambara*²

*¹Department of Nephrology Shizuoka General Hospital, Shizuoka, Japan

*²Department of Cardiovascular Medicine, Shizuoka General Hospital, Shizuoka, Japan

*³Community Health Information Network Center, Shizuoka General Hospital, Shizuoka, Japan

*⁴Home-visit Nursing Care Station Mother, Shizuoka, Japan

AHA/ACC guidelines recommend prehospital 12-lead electrocardiogram (ECG) transmission to a percutaneous coronary intervention (PCI) hospital as beneficial for patients with acute coronary syndrome. We created a wireless 12-lead ECG transmission system called “Fujiyama” involving a handheld 12-lead ECG recording device transmitting the ECG to a smartphone through Bluetooth wireless technology, converting the ECG to MFER/JPEG, and sending it to a designated email.

Methods: We recorded and transmitted 12-lead ECGs from a moving vehicle and investigated transmission accuracy by comparing recorded ECGs and ECGs received by email. Furthermore, we recorded and sent ECGs to the attending cardiologist from several facilities,

including a primary care center emergency room, a clinic, and homes of both home hemodialysis patients and visiting nurse care patients.

Results: Recording ECG from a moving vehicle did not affect interpretation of rhythms and ST changes. The transmission time of a 250–350KB size file was 7–95 s (median 23 s), short enough for emergency settings. Among the 24 ECGs only 1 had significant noise contamination. Since the ECG recording device and the smartphone are connected to a wireless network, the surroundings do not affect ECG recordings. Its small-size and light weight tailor it for various settings, including emergency care.

Key words : prehospital, 12-lead electrocardiogram, transmission, wireless, internet

(Circ Cont 2012; 33: 88–95.)