

—特集 [内科学の新たな展開：救急・総合診療領域 (2)]—

救急総合診療領域における医療 DX の最前線

川崎市救急業務の効率化に関する実証実験とテンソル心電図による
心電図のデジタル符号化に関する取り組みについて

塚田（哲翁）弥生

日本医科大学武蔵小杉病院救急・総合診療センター総合診療科

日本医科大学総合医療・健康科学教室

はじめに

令和6年6月21日に閣議決定された「経済財政運営と改革の基本方針」において、政府は医療・介護デジタルトランスフォーメーション（DX）の推進を確実にしつつ、質の高い効率的な医療・介護体制の構築と、医療データの高度な活用を通じたイノベーションの促進が、一層求められる時代を迎えている。特に、マイナ保険証を基盤とする「全国医療情報プラットフォーム」の構築は、医療DXにおける大きな転換点と位置づけられており、従来にはなかった迅速かつ効率的な医療提供体制の実現が期待されている。

一方、日本が直面している少子高齢化という構造的な課題は、医療・介護領域においても大きな影響を及ぼしており、その対応策として包括的な医療を行う救急・総合診療領域の拡充が急務とされている。これらの領域では、医療資源の効率的な配分と質の向上を目指した多様な取り組みが進められている。中でも、ICTやAI技術を活用したデジタル化の推進は、今後の持続可能な医療体制の構築において極めて重要な役割を果たすと考えられる。

本稿では、日本医大武蔵小杉病院総合診療科が関わっている医療DXの取り組みのうち、川崎市と連携して実施している救急業務の効率化を目的とした実証実験の概要と成果と、テンソル心電図解析技術を活用した心電図データのデジタル符号化のシステムの開発について、その現状と今後の展望を示す。

1. 川崎市 ICT 等を活用した

救急業務の効率化に関する実証実験

(1) 川崎市の救急搬送の課題

川崎市は、政令指定都市の中でも人口第6位を誇る大都市であり、155万人を超える市民が居住している。特に、武蔵小杉病院が所在する中原区は、市内で最も

多い27万人の人口を抱え、増加率も際立って高い地域である²。また、生産年齢人口が2/3を超える若い街であり、都市としての活力と成長を象徴している。しかし、このような人口動態や都市成長は、地域医療をはじめとする救急業務に多大な負荷をもたらしている。

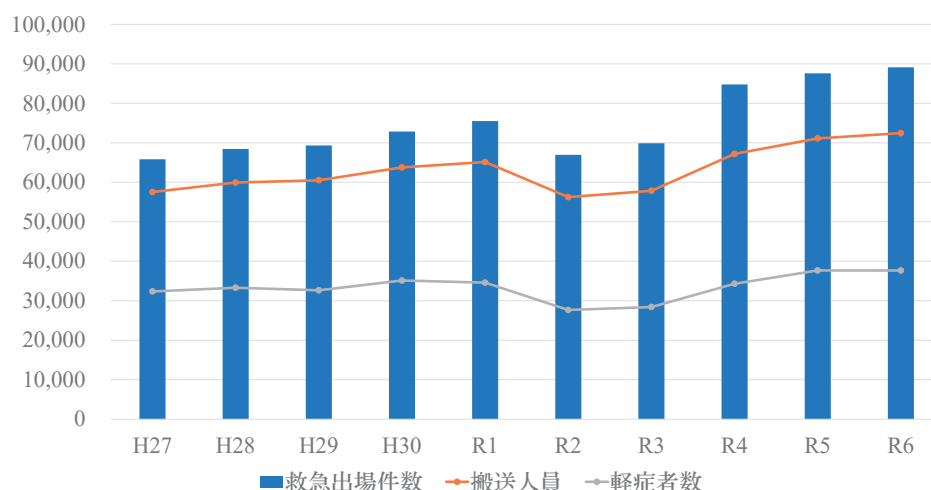
川崎市の救急出場件数は、令和2年および3年のコロナ禍において一時的に減少したものの、近年は再び増加基調を示しており、令和6年には過去最多の89,114件を記録した（図1）。この増加に伴い、救急車の現場到着までの時間が延伸しており、救急要請への迅速な対応が課題となっている。令和5年中の救急出場件数は令和元年と比較して約1.2万件増加し、救急活動時間は約8分延びている³。これにより、現場滞在時間が延長されるだけでなく、救急隊員への精神的および身体的負担も増加している。このため、迅速な対応体制の確立や負担軽減を目指した新たな取り組みが求められている。

こうした背景のもと、令和6年11月から、川崎市ではICTを活用した救急業務の効率化を目的とした実証実験が実施されている⁴（表1）。本実験は、救急隊の活動時間を短縮し、出場可能時間を増やすとともに、事務処理の効率化を図ることで救急隊員の負担軽減を目指している。

(2) 実証実験の概要とシステムの詳細

従来、救急隊が搬送先医療機関を選定する際には、電話での口頭伝達による傷病者情報の共有と受入れ可否の確認が行われていた。このプロセスでは、受入れが拒否された場合には別の医療機関に再度連絡を取らねばならず、時間的ロスが生じていた。また、このやり取りは救急隊員の精神的な負担にもなっていた。

本実証実験では、タブレット端末を用いて傷病者情報の記録と共有を行うことで、情報伝達の迅速化と効率化を図る。本システムは、日本電気株式会社が開発



令和6年中の火災・救急件数等の概況（速報）（2025年1月7日）（3）

図1 救急出場件数・搬送人員推移（H27-R6）

参考文献3より筆者が改変

表1 川崎市 ICT 等のデジタル技術を活用した救急業務の効率化に関する実証実験実施体制

実施地域	北部3区（宮前区、麻生区、多摩区）	中部2区（中原区、高津区）
実施期間	令和6年11月18日～令和7年1月18日	令和6年12月18日～令和7年2月28日
救急隊	3署13隊	2署7隊
参加医療機関	上記3区内の5医療機関	上記2区内の5医療機関
事業者	TXP Medical 株式会社（東京都千代田区）	日本電気株式会社 神奈川支社（横浜市西区）

したものであり、川崎市における消防署のサーバーと医療機関を閉域LTEネットワークおよびインターネット（モバイル回線）で接続することで、個人情報保護された安全かつ迅速な情報共有を可能にしている（図2）。救急隊は、消防局のサーバーを経て医療機関からの情報を現場で参照する一方、収集した搬送者のバイタルサインや簡単な病歴、薬剤情報、外傷画像などをタブレット端末に入力し、クラウド上で医療機関と共有する。この情報は、搬送を依頼された救急医療機関側でリアルタイムに確認可能であり、受入れ判断の迅速化が期待される。また、QRコードを用いることで電子カルテシステムの救急隊の情報取り込みも可能となる計画である。実際に利用して、口頭での情報伝達に比べて正確な情報を確認でき、受入れが円滑に行われるようになった。タブレット上の情報もダブルタップによって表示も拡張され、操作性・視認性も良好である（図3）。

本実証実験は当院においては、まず中原区・高津区の地域から救急・総合診療センターの日中に搬送される二次救急患者と高度救命救急センターに終日搬送される三次救急の患者の搬送調整を中心に実施されてい

る。現在までに搬送先選定や医師への引継ぎ時間が短縮されるなどの成果が報告されている。実験は令和7年2月まで行われ、終了後には効果を検証する予定である。

（3）ICT 活用における現状と課題

本実証実験に先行して、札幌市や藤沢市、秦野市、広島県、茨城県日立市・つくば市、北九州市など、ほかの自治体でもICTを活用した救急業務効率化の取り組みが進められている。これらの事例では、情報伝達の迅速化や救急活動時間の短縮など、一定の成果が報告されている⁵。また、令和6年12月からは国の施策として「救急時医療情報閲覧機能」が導入され、マイナ保険証を用いることで患者同意が困難な場合でも必要な医療情報の閲覧が可能となる⁶。これにより、服用薬剤や受診歴の把握が容易となり、医療機関間の連携が円滑化することが期待されている。働き方改革による医療従事者の負担軽減が求められる中、ICTを活用した効率化は医療現場における重要な解決策となる。

しかしながら、ICTやAIを活用した医療DXを推進するにあたり、いくつかの課題が存在する。まず、

川崎市実証実験における搬送患者の情報共有システム概略図

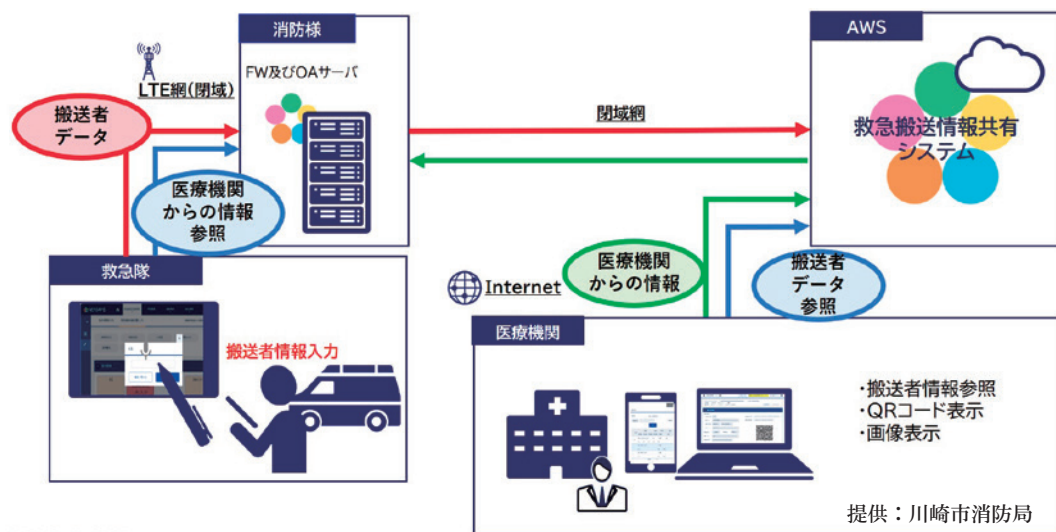


図2 川崎市実証実験における搬送患者の情報共有システム概略図

搬送患者の病歴、バイタルサインはテキストデータで、服薬や創傷全身状況などは画像としてLATEネットワーク（閉域）で川崎市消防局のサーバーを経てクラウドに保管される。医療機関は搬送要請を受けた際にインターネットを通じ、患者情報を確認する。（図：川崎市消防局提供）



提供：川崎市消防局

図3 情報共有システム表示画面と現場の状況

A) システムの表示画面

搬送患者の基本情報（年齢、性別、主訴）が一目で把握できるよう、大きく表示されている。画面の左端にはバイタルサイン、中央には病歴、右端には画像情報がそれぞれ配置されている。これらの情報は、いずれもダブルタップによって拡大表示が可能であり、詳細な確認を容易にしている。また、画面左下に表示されるQRコードを用いることで、搬送患者情報を電子カルテシステムに直接取り込むことが可能である。

B) 患者一覧画面

C) 現場での入力の様子

キーボードもしくは手書きでの入力が可能である。（図：川崎市消防局提供）

表2 救急診療サービスにおける医療 DX を用いた業務効率化の取り組み

平時
・季節・気候等による救急需要予測による医療資源の適正配分 ⁷⁻⁹
・効率的な救急医療のための AI アルゴリズムによるプロセスの開発 ¹⁰
・生成 AI (Artificial intelligence) によるコミュニケーション教育・研修
・仮想現実 (VR: Virtual Reality) や拡張現実 (AR: Augmented Reality) による臨床教育・研修
到着前 (プレホスピタル)
・マイナ保険証等に紐付いた電子カルテ情報共有 (3 文書 6 情報) と救急事務業務の効率化
・救急隊到着時情報共有と適正な搬送先の選定と搬送時間の短縮
・遠隔診断に基づく救命救急士による早期医療介入
到着前・到着後
・情報通信技術 (5G) や AI を活用した救急放射線の遠隔診断・自動診断診断
・大規模言語モデル (LLM: Large language model) による自動問診と診療前診断支援 ¹¹
・LLM による意思決定支援 ¹¹

セキュリティ対策が重要である。患者情報の安全な取り扱いやサイバー攻撃による情報漏えい対策が必須である。また、高齢者やデジタルアクセスが制限されている受診者に対し格差がないように対応することも課題として挙げられる。さらに、医療機関においては、セキュアなインターネット環境の整備が必要であり、医療従事者の IT リテラシー向上が不可欠である。医療 DX を支えるデジタル人材の育成・確保も急務である。

(4) 救急医療サービスにおける医療 DX の展望

救急医療や災害医療は、医療資源が限られた状況下で行われることが多く、ICT や AI の活用はこうした課題解決において極めて親和性が高い。これまでも、救急医療サービスにおいても、国内外で多くの取り組みがなされているが、まだ十分に定着しているとはいえない(表2)。厚生労働省は医療 DX の推進を掲げており、その効果として、医療の効率化、コスト削減、事業継続計画 (BCP) の強化が期待されている。また、単なる効率化に留まらず、救急医療全体の質を向上させられると思われる。本実証実験が示す成果は、医療 DX の可能性を示すものであり、今後の川崎市において救急医療の DX 展開に向けた貴重な一歩となるであろう。

2. テンソル心電図による

心電図のデジタル符号化の取り組み

(1) 心電図検診とデジタル化の必要性

日本においては、学校保健安全法に基づき、小児期から心電図検診が義務付けられており、QT 延長症候群、不整脈源性右室心筋症、ブルガダ症候群といった遺伝性心疾患の早期発見と予後改善に大きく寄与している。この制度により、潜在的な疾患を抱える児童が

早期に特定され、適切な管理が行われることで突然死のリスク軽減に貢献している。しかしながら、20 歳未満の心肺停止例は依然として年間 1,500~1,700 人発生しており、その大半が遺伝性心疾患に起因している。これらの疾患は、生涯にわたるフォローアップを必要とするにもかかわらず、その診療体制には多くの課題が存在している。

課題の一つは、小児科から成人診療科への移行医療における情報連携の不十分さである。この結果、移行期に適切なフォローアップが行われず、診断や治療が中断されるケースが少なくない。特に、心電図波形データの運用において国際基準のデジタルフォーマットが存在しないことが、データのポータビリティと診療の継続性を妨げる要因となっている。このような背景から、令和 6 年 11 月には日本循環器学会と日本小児循環器学会が共同で「学校心臓検診のデジタル化に関する提言」を発表し、心電図検診の現状における紙ベース運用の非効率性や標準化の欠如を指摘した¹²。同提言では、効率的で一貫性のあるデータ管理と診療体制を実現するため、心電図検診のデジタル化が不可欠であると結論付けられている。

この問題は学校心臓検診に限らず、産業衛生法に基づく定期健康診断や特定健康診査、さらに私費による人間ドックや診療現場における心電図検査にも共通する課題である。現行の運用では、これらの検査室外で記録された心電図データの多くが紙媒体や画像データとして保存されており、統一されたデジタルフォーマットが活用されていない。この非効率性は診療現場でのデータ活用を制約し、診断精度や医療の質の向上を妨げている。

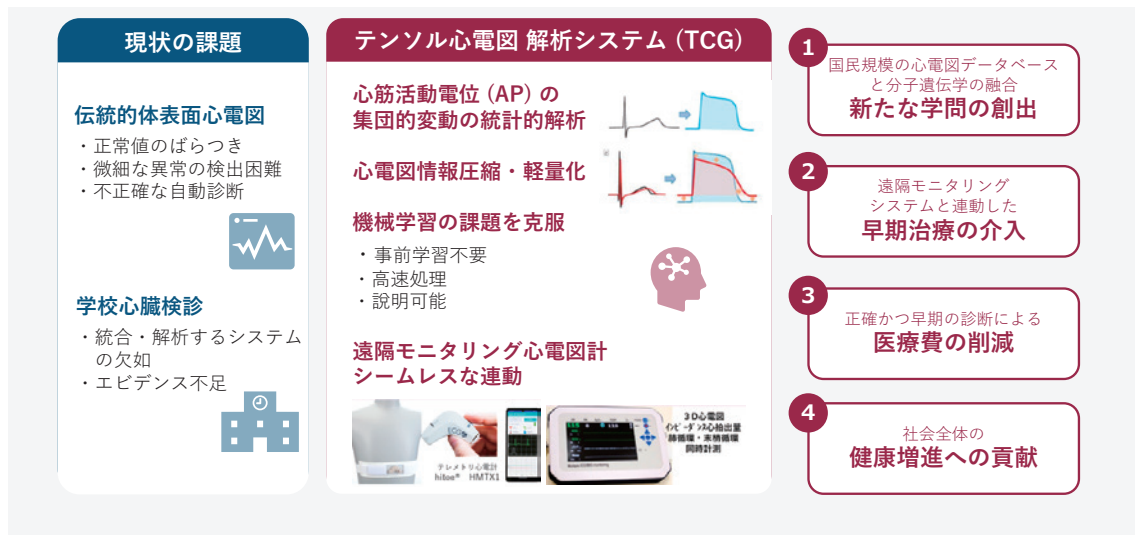
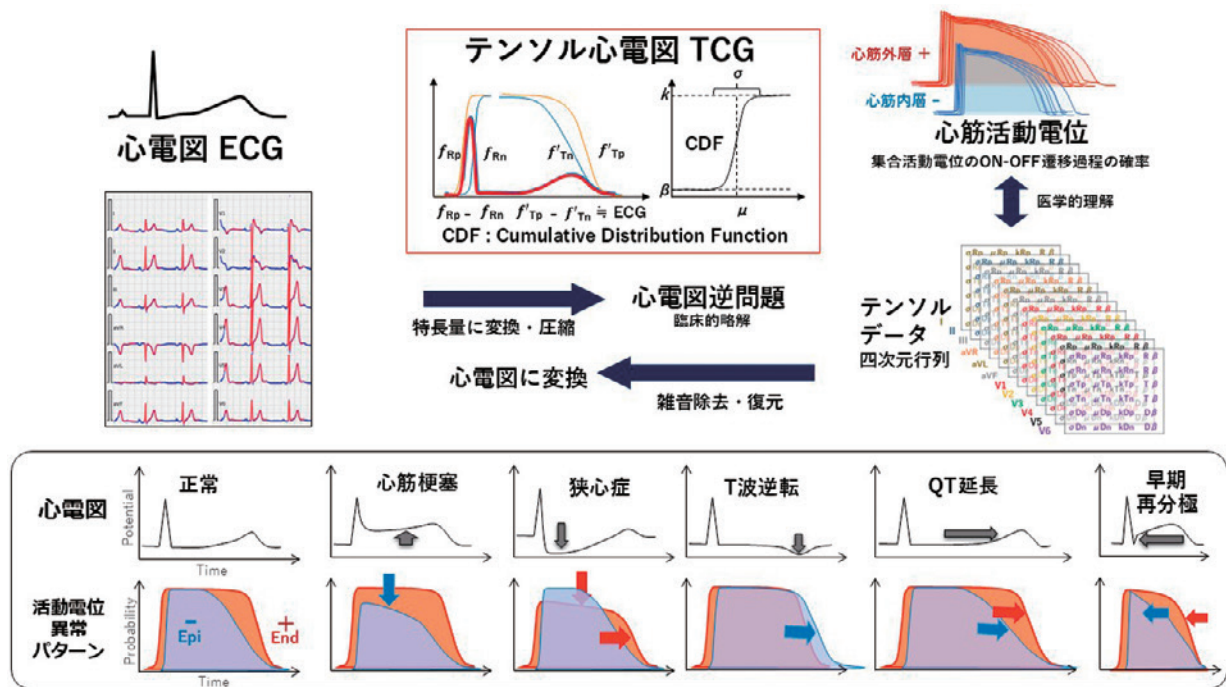


図4 テンソル心電図 (TCG) による高精度早期診断システムの応用

図5 テンソル心電図解析システムの概要
(図: NTT 物性科学基礎研究所提供)

(2) 新技術テンソル心電図解析 (TCG 解析)

心電図の判読は高度な専門性を要し、熟練した医師による診断が求められるが、現在使用されている自動診断技術は1960年代に策定されたミネソタコードを基準としており、定性的な評価に依存している。このため、診断結果には不正確さや過剰診断が伴うことが多く、医療リソースの浪費や患者負担を招いている。また、近年注目されるAI技術を活用した自動診断においても、心電図データのデジタル保存が前提となる

ため、現状ではその実用化が限定的である。

こうした課題を解決するため、筆者らは新たに「テンソル心電図解析 (TCG 解析)」を開発中である (図4)。TCG 解析は「累積ガウス差分法」を用いて心筋活動電位を高精度に推定し、心室内膜側と外膜側の活動を分離して数値化 (TCG パラメータ) する技術である (図5)。この技術により、心電図データを圧縮しながらも雑音を効果的に除去することが可能であり、保存された TCG パラメータから高精度な波形再現 (図6)

元心電図情報 (CSV)1/5-10まで情報圧縮が可能



(青=実波形、赤=テンソル心電図解析による波形)

図6 モデル式によって導出された波形の再現性

累積ガウス関数を組み合わせたモデル式によるモデル式によって導かれた波形は実測心電図と一致

表3 テンソル心電図, 従来型心電図と AI 心電図の比較

	ECG	TCG	AI
	心電図 (閾値や論理式による分類)	テンソル心電図	機械学習 (DNN)
異常検出の感度	低い	高い	高い (学習データに依存)
計算速度 (負荷)	高速 (負荷小)	高速 (負荷小～中)	遅い (負荷大)
定性	△ (PQRST の高さ時間間隔)	○	×
理由の説明	○ (専門的知識と経験必要)	◎	×
過学習	(-)	なし	あり
耐雑音性	○ (目視による除外)	◎	△ (雑音を含むデータの学習必要)
得られる情報や 利点	電気軸・不整脈や虚血の有無・ 波形分類	活動電位持続時間, 活動電位 (内外層), 波形歪の計量, 異常検知 (拍動毎)	性別や年齢層, 心不全

や統計的解析が可能となる。また、この解析技術はリアルタイム解析にも対応可能であり、診療現場での即時的な診断支援に寄与することが期待されている。

機械学習を用いた心電図自動診断による研究の多くは、心電図を時系列数値データとして取り扱い、再帰型ニューラルネットワーク (RNN) の一種である長短期記憶 (LSTM) を用いた分類手法である。前述の通り、本手法は事前に①大量のデータによる事前学習を必要とし、②モデルが複雑で計算過程がわからないことや (ブラックボックス化)、③過学習などの問題があることが指摘されている。また、ほとんどが画像として心電図を取り扱う一方で、TCGは数値化された情報による解析であるため、従来の解析手法とは異なるものであり、全く新しい技術である (表3)。

(3) TCG システム開発研究と標準値の確立

筆者らは、令和6年度国立研究開発法人日本医療研究開発機構 (AMED) から「医療機器等研究成果展開事業」として助成金を受け、日本医大循環器内科 (岩崎雄樹准教授)、九州大学循環器内科、NTT 物性科学基礎研究所、NTT データ数理システムとともに、本システムの開発研究を行っている (図4)¹³⁻¹⁵。企業健診受診者 4,150 名の中から健常者 444 例を抽出し、TCG 解析を実施した。この研究により、各パラメータの標準値が確立され、健常者群と心疾患群における特定パラメータの差異が明確化された。また、重症不整脈の症例において再分極相の異常や非典型的な振動などの特徴的な所見が確認され、臨床診断における TCG 解析の有用性が示された。この研究に基づき、現在は異常判定の閾値を設定し、さらなる臨床応用に向けた準備が進められている。

さらに、TCG解析は従来のデータ圧縮技術と比較して優れた性能を示している。圧縮率は約9%であり、標準的な信号圧縮技術(DCT)を上回る効率性を持つと同時に、圧縮後の波形再現性も極めて高い(データ未発表)。この技術の導入により、心電図データの保存効率は飛躍的に向上し、診療現場や研究分野におけるデータ活用の可能性が格段に広がることが期待される。筆者らは、本システムを心電図データの標準符号として位置付けることを提案しており、これにより個人の生涯にわたる心電図記録がパーソナルヘルスレコード(PHR)として一元的に保存される仕組みの実現を目指している。

(4) 心電図デジタル化の社会的意義と展望

心電図検査は、生涯を通じて学校検診、定期健診、人間ドック、診療現場など、様々な場面で実施されるが、現状では各検診データがバラバラに管理されている。この分散したデータを統一的に管理し、国民が自身の医療データを一元的に把握できるようにすることは、医療DXの重要な課題である。国が進めるデータヘルス改革では、マイナポータル等を活用した国民医療情報の統合が進んでおり、TCG解析技術の導入はこれを強力に後押しするものとなる。

TCG解析によるデータの標準化は、学校検診や健診データのみならず、診療現場における診断精度向上や医療効率化に貢献することが期待される。さらに、AI技術との連携により、患者ごとのリスク評価や予防医療の高度化にも寄与することも可能である。こうした取り組みは、日本国内のみならず国際的にも波及効果を持つものであり、心電図診断技術の新たな基準を確立する研究開発を継続していく予定である。

おわりに

本稿では、武蔵小杉病院総合診療科で現在取り組んでいる医療DXに関連する二つの診療と研究について概説した。医療DXは、政府が主導する国策であり、現代医療に携わるすべての医療従事者が向き合うべき喫緊の課題である。その導入にあたっては、設備投資やソフトウェアの高度化、さらには専門的な知識と技術を備えた人材の育成といった多方面にわたる取り組みが求められる。一方で、こうした努力の先に得られる成果は大きい。医療DXによって得られる情報は、医療の質を高めるだけでなく、効率的な医療の提供や市民の健康促進にも寄与し、さらには学術的な発展をもたらす可能性を秘めている。

医療は変化し続ける社会の要請に応える必要があ

り、その基盤を強化することが、医療の発展に不可欠である。教育研究機関としての責務は、この新たな時代の要請に応え得る医療人を育成し、医療DXの推進に主体的に関与することである。同時に、医療DXを基盤とした新たな診療モデルや研究分野の開拓を通じて、医学の発展に貢献することが期待される。医療DXは、効率的かつ高度な医療の提供を可能にするだけでなく、医療従事者と患者の双方にとって大きな恩恵をもたらすものである。その本質を認識し、実現に向けて持続的かつ積極的に取り組む必要があるといえよう。

謝辞：本論文の執筆にあたり、川崎市消防局警防部救急課 課長補佐 白井 泰延氏にご協力を賜った。

Conflict of Interest：開示すべき利益相反はなし。

文 献

1. 内閣府：経済財政運営と改革の基本方針2024(2024年6月21日). <https://www5.cao.go.jp/keizai-shimon/kaigi/cabinet/honebuto/2024/decision0621.html> Accessed Jan 13, 2025.
2. 川崎市：川崎市の世帯数・人口、区別人口動態、区別市外移動人口(令和6年12月1日現在)(2024年12月10日). <https://www.city.kawasaki.jp/170/page/0000171633.html> Accessed Jan 13, 2025.
3. 川崎市：令和6年中の火災・救急件数等の概況(速報)(2025年1月7日). <https://www.city.kawasaki.jp/templates/prs/cmsfiles/contents/0000172/172633/houdouhappyou.pdf> Accessed Jan 14, 2025.
4. 川崎市：ICT等のデジタル技術を活用した救急業務の効率化に関する実証実験を行います！(2024年11月5日). Accessed Jan 13, 2025. https://www.city.kawasaki.jp/templates/prs/cmsfiles/contents/0000170/170776/241105kyukyuDX_PR.pdf
5. Yamada M, Nakada TA, Nakao S, et al.: Novel information and communication technology system to improve surge capacity and information management in the initial hospital response to major incidents. *Am J Emerg Med* 2019; 37: 351-355.
6. 厚生労働省医政局：救急時医療情報閲覧概要案内(令和6年9月). <https://www.mhlw.go.jp/content/10200000/001243478.pdf> Accessed Jan 13, 2025.
7. Hu B, Jiang G, Yao X, et al.: Allocation of emergency medical resources for epidemic diseases considering the heterogeneity of epidemic areas. *Front Public Health* 2023; 11: 992197. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.992197>
8. Ishikawa T, Nakao Y, Fujiwara K, et al.: Forecasting maldistribution of human resources for healthcare and patients in Japan: a utilization-based approach. *BMC Health Serv Res* 2019; 19: 653. <https://doi.org/10.1186/s12913-019-4470-x>
9. Rezaei M, Ingolfsson A: Forecasting to support EMS tactical planning: what is important and what is not. *Health Care Manag Sci* 2024; 27: 604-630.
10. Akeel A, Aljohani A, Alnasser O, et al.: The Use of AI in Predicting Patient Outcomes and Deterioration in the Emergency Department. *JOURNAL OF*

- HEALTHCARE SCIENCES 2023; 3: 510-516. <https://doi.org/10.52533/JOHS.2023.31109>.
11. Preiksaitis C, Ashenburg N, Bunney G, et al.: The Role of Large Language Models in Transforming Emergency Medicine: Scoping Review. *JMIR Med Inform* 2024; 12: e53787. <https://doi.org/10.2196/53787>
 12. 日本小児循環器学会, 日本循環器学会: 学校心臓検診のデジタル化に関する提言. https://www.j-circ.or.jp/cms/wp-content/uploads/2024/11/recommendations_regarding_digitalization_of_school_heart_examinations_2.pdf Accessed Jan 13, 2025.
 13. Tsukada S, Iwasaki Y, Tsukada YT: Tensor cardiography: a novel ECG analysis of deviations in collective myocardial action potential transitions based on point processes and cumulative distribution functions. *PLOS Digit Health* 2024; 3: e0000273. <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000273>
 14. Iwasaki Y, Tsukada S, Tsukada YT, et al.: The Novel Tensor Cardiography Analysis by Using

- Cumulative Distribution Functions for Predicting Life-threatening Arrhythmia. Asia Pacific Heart Rhythm Society (APHR2024) Sydney Australia 26-29 Sep. 2024.
15. Tsukada S: "Wearable Textile Electrodes for Long-term Vector ECG monitoring 'Tensor Cardiography'" ISMICT 2020 (keynote speaker)

(受付: 2025 年 1 月 14 日)

(受理: 2025 年 1 月 15 日)

日本医科大学医学会雑誌は、本論文に対して、クリエイティブ・コモンズ表示 4.0 国際 (CC BY NC ND) ライセンス (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>) を採用した。ライセンス採用後も、すべての論文の著作権については、日本医科大学医学会が保持するものとする。ライセンスが付与された論文については、非営利目的で、元の論文のクレジットを表示することを条件に、すべての者が、ダウンロード、二次使用、複製、再印刷、頒布を行うことができる。