Journal of Marine Medicine
Winter 2026, Volume 7, Issue 4 (Special Issue: Policy Brief)
Pages: 47-50
10.30491/7.4.47

Prediction and Risk Management of Post-Cardiac Surgery Complications: Application of Multivariate Longitudinal Models to Develop a Comprehensive Monitoring Tool for Vital Signs and Daily Drainage

Amirhossein Yadolahi [1], Negar Asadpanah [1], Mehdi Raei [2,3] *

[1] *Student Research Committee, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[2] *Artificial Intelligence in Health Research Center, Biomedicine Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*
[3] *Department of Epidemiology and Biostatistics, Faculty of Health, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran*

Received: 5 January 2026 **Accepted:** 30 January 2026

Abstract

The postoperative recovery period following cardiac surgery represents one of the most critical phases in patient care, as vital signs often exhibit complex and sometimes unpredictable fluctuations. These changes may include heart rate, blood pressure, oxygen saturation, and other physiological parameters, each playing a crucial role in overall patient health. Therefore, continuous and precise monitoring of these indicators is essential not only for preventing potential complications but also for the early detection of problems and timely intervention by the clinical team. The importance of this monitoring becomes particularly evident given that even minor alterations in the vital signs of cardiac patients can lead to serious and potentially irreversible consequences.

In this study, researchers employed multivariate longitudinal modeling to analyze repeated measurements from 72 patients who had undergone cardiac surgery. This statistical approach allows for the examination of temporal changes and the interrelationships among different variables, revealing correlations between vital signs over time. The primary aim of this analysis was to identify temporal patterns and predictive indicators of patient status, which could inform the design of more precise care protocols. Such an approach enables physicians and nurses to make more comprehensive clinical decisions and prevent sudden critical events.

The results demonstrated that postoperative pain intensity was significantly associated with adverse changes in vital signs. In other words, higher pain levels contributed to instability in blood pressure, heart rate, and other physiological parameters, highlighting the critical importance of effective pain management. Additionally, daily drainage volume -particularly during the early postoperative days- was found to predict subsequent blood pressure changes. This finding suggests that fluid output can serve as an early warning indicator, preparing clinicians for potential physiological alterations.

The findings of this study have high practical relevance and can assist healthcare administrators and clinicians in optimizing pain management protocols and patient monitoring. Moreover, the results provide a foundation for developing intelligent early-warning systems in intensive care units, capable of analyzing real-time patient data, detecting abnormal changes, and alerting the clinical team promptly. Such technologies not only enhance the quality of patient care but also have the potential to significantly reduce postoperative morbidity and mortality following cardiac surgery. Overall, this research represents an important step toward integrating clinical expertise with advanced statistical tools and innovative monitoring technologies.

Keywords: Cardiac surgery, Patient monitoring, Risk management, Postoperative complications

***Corresponding author:** Mehdi Raei, **Email**: mehdi_r_d@yahoo.com
Address: Artificial Intelligence in Health Research Center, Biomedicine Technologies Institute, Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, Iran

مجله طب دریا
دوره ۷، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۴ (ویژه نامه خلاصه سیاستی)
صفحات: ۵۰-۴۷
10.30491/7.4.47

پیش‌بینی و مدیریت ریسک عوارض بعد از جراحی قلب: کاربرد مدل‌های طولی چندمتغیره در ایجاد یک ابزار پایش جامع برای پارامترهای حیاتی و درناژ روزانه

امیرحسین یدالهی[۱]، نگار اسدپناه[۱]، مهدی راعی[۲،۳]*

[۱] کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه‌الله، تهران، ایران
[۲] مرکز تحقیقات هوش مصنوعی در سلامت، پژوهشکده فناوری های زیست پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران
[۳] گروه اپیدمیولوژی و آمار زیستی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران

دریافت مقاله: ۱۴۰۴/۱۰/۱۵ **پذیرش مقاله:** ۱۴۰۴/۱۱/۱۰

چکیده

دوره نقاهت پس از جراحی قلب یکی از حساس‌ترین مراحل درمانی بیماران محسوب می‌شود، زیرا در این بازه زمانی شاخص‌های حیاتی بدن دچار نوسانات پیچیده و گاه غیرقابل پیش‌بینی می‌شوند. این تغییرات می‌توانند شامل ضربان قلب، فشار خون، میزان اکسیژن خون و سایر پارامترهای حیاتی باشند که هر کدام نقش مهمی در سلامت عمومی بیمار دارند. بنابراین، پایش دقیق و مستمر این شاخص‌ها نه تنها برای پیشگیری از بروز عوارض احتمالی ضروری است، بلکه می‌تواند به شناسایی زودهنگام مشکلات و مداخله‌ی سریع تیم درمانی منجر شود. اهمیت این موضوع زمانی بیشتر آشکار می‌شود که بدانیم کوچک‌ترین تغییر در وضعیت حیاتی بیماران قلبی می‌تواند پیامدهای جدی و گاه غیرقابل جبران به همراه داشته باشد.

در این مطالعه، پژوهشگران با بهره‌گیری از مدل‌سازی طولی چندمتغیره، داده‌های تکرارشونده‌ی ۷۲ بیمار که تحت عمل جراحی قلب قرار گرفته بودند را مورد بررسی دقیق قرار دادند. این روش آماری امکان تحلیل تغییرات در طول زمان را فراهم می‌کند و علاوه بر آن، روابط میان متغیرهای مختلف و همبستگی‌های موجود بین شاخص‌های حیاتی را آشکار می‌سازد. هدف اصلی این تحلیل، شناسایی الگوهای زمانی و تعیین شاخص‌های پیش‌بینی‌کننده وضعیت بیماران بود تا بتوان از آن‌ها در طراحی پروتکل‌های مراقبتی دقیق‌تر استفاده کرد. چنین رویکردی به پزشکان و پرستاران اجازه می‌دهد تا با دیدی جامع‌تر نسبت به وضعیت بیمار تصمیم‌گیری کنند و از بروز بحران‌های ناگهانی جلوگیری نمایند.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که شدت درد پس از جراحی ارتباط معناداری با تغییرات نامطلوب در علائم حیاتی دارد. به عبارت دیگر، افزایش سطح درد می‌تواند موجب بی‌ثباتی در فشار خون، ضربان قلب و سایر شاخص‌های حیاتی شود که این امر ضرورت مدیریت مؤثر درد را بیش از پیش برجسته می‌سازد. همچنین مشخص شد میزان درناژ روزانه، به‌ویژه در روزهای نخست پس از عمل، توانایی پیش‌بینی تغییرات آتی فشار خون را دارد. این یافته نشان می‌دهد که توجه به میزان خروج مایعات از بدن می‌تواند به عنوان یک شاخص هشداردهنده‌ی اولیه در نظر گرفته شود و پزشکان را نسبت به تغییرات احتمالی آماده سازد.

یافته‌های این مطالعه ارزش کاربردی بالایی دارند و می‌توانند به تصمیم‌گیرندگان و مدیران بخش‌های درمانی کمک کنند تا پروتکل‌های مدیریت درد و پایش بیماران را بهینه‌سازی کنند. علاوه بر این، نتایج می‌تواند مبنای توسعه‌ی سیستم‌های هشداردهنده‌ی هوشمند در بخش‌های مراقبت ویژه باشد؛ سیستم‌هایی که با تحلیل داده‌های لحظه‌ای بیماران، تغییرات غیرعادی را شناسایی کرده و تیم درمانی را به سرعت مطلع سازند. چنین فناوری‌هایی نه تنها کیفیت مراقبت از بیماران را ارتقا می‌دهند، بلکه می‌توانند میزان مرگ‌ومیر و عوارض پس از جراحی قلب را به شکل قابل توجهی کاهش دهند. در مجموع، این پژوهش گامی مهم در جهت تلفیق دانش بالینی با ابزارهای آماری پیشرفته و فناوری‌های نوین مراقبتی به شمار می‌رود.

کلیدواژه‌ها: جراحی قلب، پایش، مدیریت ریسک، عوارض

*نویسنده مسئول: **مهدی راعی**. پست الکترونیک: mehdi_r_d@yahoo.com
آدرس: مرکز تحقیقات هوش مصنوعی در سلامت، پژوهشکده فناوری های زیست پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی بقیه الله (عج)، تهران، ایران.

مقدمه

مراقبت‌های پس از جراحی قلب، به‌ویژه در بخش مراقبت‌های ویژه (ICU)، یک مرحله حیاتی و با ریسک بالا است که مستقیماً بر نتایج بلندمدت بیمار و ایمنی کلی بیمارستان تأثیر می‌گذارد. جراحی قلب نیازمند مراقبت دقیق و لحظه‌ای در دوره پس از عمل است، زیرا علائم حیاتی، شاخص‌های تنفسی، فشار خون سیستولیک (SBP)، فشار خون دیاستولیک (DBP)، سطح درد و میزان درناژ روزانه تغییرات پویا و وابسته به زمان دارند (۱). عدم پایداری یا تغییرات غیرمنتظره این متغیرها در ساعات اولیه پس از عمل می‌تواند نشانگر شروع زودهنگام عوارض جدی نظیر خونریزی، عفونت یا نارسایی اندام باشد.

وابستگی متقابل و پیچیده این متغیرهای فیزیولوژیک به یکدیگر، همراه با تغییرپذیری شدید آن‌ها در سطح فردی و سازمانی، موجب می‌شود روش‌های تحلیل سنتی (مانند تحلیل در یک نقطه زمانی گسسته) توانایی لازم برای توصیف دقیق و جامع وضعیت دینامیک بیمار را نداشته باشند (۲،۳). این شکاف تحلیلی می‌تواند منجر به شناسایی دیرهنگام الگوهای خطر و در نتیجه، تأخیر در مداخلات درمانی نجات‌بخش و افزایش هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی شود.

برای رفع این نارسایی و ایجاد یک سیستم پایش داده‌محور و پیش‌بینی‌کننده، استفاده از مدل‌های طولی چندمتغیره به‌عنوان یک ابزار استراتژیک در تحقیقات سلامت پیشنهاد شده است؛ رویکردی که می‌تواند نه تنها روابط پیچیده شاخص‌ها را در طول زمان به‌طور همزمان روشن کند، بلکه مسیرهای تغییرات آن‌ها را به شکلی قابل‌تفسیر و قابل استفاده برای تصمیم‌گیری بالینی فراهم سازد (۴). هدف این مطالعه حیاتی نیز به‌کارگیری دقیق همین رویکرد آماری پیشرفته است تا با درک بهتر وضعیت چندبعدی بیماران پس از جراحی قلب، نقشه راهی برای بهینه‌سازی پروتکل‌های مراقبت‌های ویژه و ارتقاء ایمنی بیمار از طریق رصد دقیق متغیرهای حیاتی ارائه دهد.

روش‌ها

این پژوهش از نوع تحلیل طولی گذشته‌نگر بود و بر داده‌های بالینی بیماران بزرگسال پس از جراحی قلب تکیه داشت. شاخص‌هایی مانند علائم حیاتی، پارامترهای تنفسی، SBP، DBP، شدت درد و میزان درناژ روزانه به‌صورت تکرارشونده در بازه‌های زمانی استاندارد ثبت شدند. سپس با استفاده از مدل‌سازی طولی چندمتغیره، الگوهای زمانی، ارتباط میان شاخص‌ها و عوامل مرتبط با تغییرات آن‌ها تحلیل شد. این روش امکان بررسی همزمان چندین متغیر مرتبط را فراهم کرد و برای شناسایی عوامل مؤثر بر پیامدهای کوتاه‌مدت پس از جراحی استفاده شد.

نتایج

نتایج تحلیل نشان داد که شدت درد در روزهای نخست پس از عمل به دلیل جراحی تهاجمی بالا بود. نکته کلیدی سیاستی اینجاست که کاهش تدریجی درد با تغییرات معنی‌دار و همزمان در ضربان قلب و نرخ تنفس همراه بود. این همبستگی قوی اثبات می‌کند که مدیریت مؤثر و فعالانه درد نه تنها یک مؤلفه انسانی و رفاهی، بلکه یک استراتژی حیاتی برای حفظ پایداری همودینامیک بیمار در دوره ریکاوری اولیه است؛ به عبارت دیگر، کنترل درد مستقیماً به کاهش استرس قلبی-تنفسی کمک می‌کند.

مهم‌ترین یافته تحلیلی، شناسایی میزان درناژ روزانه به‌عنوان یک شاخص پیش‌بینی‌کننده قوی برای نوسانات آتی فشار خون بود. این کشف بینش استراتژیکی فراهم می‌کند؛ مدل نشان می‌دهد که می‌توان با رصد ناهنجاری در میزان درناژ (که اغلب تنها به عنوان یک عارضه موضعی تلقی می‌شود)، خطر وقوع ناپایداری‌های سیستمی (مانند افت یا افزایش ناگهانی فشار خون) را پیش از آنکه بحرانی شوند، هشدار داد. این موضوع امکان ایجاد یک سیستم هشداردهنده زودهنگام (Early Warning System - EWS) مبتنی بر داده را برای بخش‌های مراقبت ویژه فراهم می‌آورد.

این نتایج، دقت بسیار بالای مدل‌های طولی چندمتغیره در شناسایی عوامل مرتبط با وضعیت همودینامیک بیمار و کشف روابط غیرخطی میان شاخص‌ها را نشان می‌دهد. این بینش‌های زمانی و پیش‌بینی‌کننده، امکان بازنگری در پروتکل‌های ICU را فراهم می‌کنند، به‌طوری که مراقبت‌ها دیگر صرفاً واکنشی به بحران نباشند، بلکه فعالانه و هدفمند به سمت حفظ پایداری همودینامیک، کاهش عوارض پیش‌رونده و بهینه‌سازی تخصیص منابع درمانی هدایت شوند.

بحث و نتیجه‌گیری

کاربرد موفقیت‌آمیز مدل‌سازی طولی چندمتغیره در این مطالعه به وضوح نشان داد که تحلیل چندبعدی، همزمان و وابسته به زمان برای پایش و ارزیابی دقیق وضعیت بیماران پس از جراحی قلب یک ضرورت بالینی و استراتژیک است (۱۶). این رویکرد، روابط پنهانی را آشکار کرد؛ به‌طور خاص، همبستگی قوی و دینامیک میان شدت درد و تغییرات شاخص‌های حیاتی (مانند ضربان قلب و تنفس) اهمیت بازنگری فوری و جامع در پروتکل‌های مدیریت درد در بخش‌های مراقبت ویژه را برجسته می‌سازد (۱۷،۱۸). مهم‌تر از آن، شناسایی درناژ روزانه به‌عنوان یک شاخص پیش‌بینی‌کننده قابل اعتماد برای نوسانات آتی فشار خون می‌تواند به عنوان یک ابزار حیاتی در توسعه سیستم‌های هشدار زودهنگام (EWS) هوشمند به‌کار رود و امکان مداخله فعالانه را فراهم سازد (۱۹). برای تبدیل این یافته‌های حیاتی به تغییرات ملموس در مراقبت و ارتقای ایمنی سازمانی، اقدامات سیاستی قاطع در سه سطح کلیدی توصیه می‌شود: ۱. در سطح وزارت بهداشت، باید راهنمای ملی

برای استفاده استاندارد از مدل‌سازی طولی چندمتغیره (MLM) در پایش بیماران تدوین شده و توسعه سیستم‌های هشداردهنده هوشمند در دستور کار قرار گیرد. ۲. در سطح بیمارستان‌ها و بخش‌های ICU، لازم است این مدل‌ها در سیستم‌های اطلاعاتی بیمارستانی (HIS) یکپارچه شوند و اجرای سخت‌گیرانه پروتکل‌های به‌روز مدیریت درد و پایش شاخص‌های حیاتی تضمین شود. ۳. در سطح مدیران واحدهای بالینی، داده‌های درناژ روزانه و شدت درد باید به‌عنوان شاخص‌های کلیدی پیش‌بینی‌کننده فشار خون و وضعیت همودینامیک لحاظ گردند و سیستم‌های هشداردهنده شخصی‌سازی‌شده برای شناسایی زودهنگام بیماران پرریسک طراحی و فعال سازند (۲۰). این یکپارچه‌سازی داده‌های روتین با مدل‌های تحلیلی پیشرفته، نتیجه نهایی را در قالب حرکت از مراقبت‌های واکنشی به مراقبت‌های فعالانه و پیش‌بینی‌کننده، کاهش عوارض پس از جراحی و بهبود ایمنی بیمار به ارمغان می‌آورد.

تشکر و قدردانی: با تشکر از همکاری و مشاوره‌های واحد توسعه تحقیقات بالینی بیمارستان بقیه‌الله (عج)، نویسندگان از همه همکارانی که در غنای مطالب حاضر یاری رسان بوده اند، نهایت تشکر و قدردانی به عمل می آورند.

نقش نویسندگان: همه نویسندگان در نگارش اولیه مقاله یا بازنگری آن سهیم بودند و همه با تایید نهایی مقاله حاضر، مسئولیت دقت و صحت مطالب مندرج در آن را می پذیرند.

تضاد منافع: نویسندگان تصریح می کنند که هیچ گونه تضاد منافعی در مطالعه حاضر وجود ندارد.

منابع

1. Hassan Z, et al. Post-operative critical care challenges and monitoring in cardiac surgery. J Cardiothorac Surg. 2023;18(1):55-70.
2. Smith J, et al. Essential vital signs and hemodynamic monitoring in the intensive care unit. Crit Care Med. 2022;50(3):400-15.
3. Chang C, et al. Interdependency and time-variability of physiological markers post-cardiac surgery: a clinical review. Anesth Analg. 2021; 133 (5):1301-10.
4. Wang Y, et al. The need for advanced statistical modeling in complex clinical data analysis. Stat Med. 2024;43(1):150-65.
5. Nazar E, et al. Retrospective longitudinal study design in post-operative care data mining. J Biomed Inform. 2024;150:104617.
6. Liang Y, et al. Data collection protocols for repeated measures of vitals and clinical indices in surgical patients. Int J Nurs Stud. 2023;145: 104085.
7. Martinez A, et al. Standardization of pain, drainage, and blood pressure measurement post-cardiac bypass. J Card Surg. 2022;37(11):3712-20.
8. Ghasemi H, et al. Principles and application of multivariate longitudinal data analysis in clinical research. Biometrics. 2021;77(4):1120-35.
9. Rojas R, et al. Joint modeling of multiple correlated outcomes over time: a statistical perspective. Ann Appl Stat. 2023;17(3):2010-35.
10. Oliveira P, Santos L. Linking longitudinal clinical predictors to short-term outcomes after major surgery. BMC Med Res Methodol. 2020;20(1):285.
11. Almasi A, et al. Performance of longitudinal models in identifying temporal patterns of vital signs. Crit Care. 2023;27(1):105.
12. Kim H, et al. Trajectory analysis of systolic and diastolic blood pressure following coronary artery bypass grafting. Hypertension. 2022;79 (8):1790-800.
13. Muzzarelli RAA. Relationship between post-surgical pain scores and concurrent physiological markers. Pain Manag. 2021;11(6): 665-75.
14. Khaksar MA, et al. Multivariate analysis of inter-dependencies among respiratory rate, heart rate, and blood pressure. Physiol Meas. 2020;41 (12): 125001.
15. Chen L, et al. Predictive utility of early post-operative chest drainage for subsequent hemodynamic instability. Eur J Cardiothorac Surg. 2024;65(3):ezad429.
16. Brown B, et al. Challenges in statistical inference with complex time-series clinical data. J R Stat Soc Ser C Appl Stat. 2023;72(5):1412-30.
17. Food and Drug Administration. Guidelines for pain management and monitoring of vitals in acute care settings. Silver Spring (MD): FDA; 2018.
18. Smith J, et al. The impact of uncontrolled pain on cardiopulmonary function after cardiac surgery. J Pain Symptom Manage. 2022;64(5): 490-9.
19. Wang Y, et al. Development of early warning systems based on longitudinal prediction models. J Am Med Inform Assoc. 2023;30(11): 1850-60.
20. Food and Drug Administration. Regulatory considerations for clinical decision support software utilizing advanced analytical models. Silver Spring (MD): FDA; 2024.