

医疗系统事故分析： STAMP-HFACS方法 与灰色关联度的联合应用

丁虹逸

上海理工大学管理学院，上海

收稿日期：2024年11月26日；录用日期：2025年2月6日；发布日期：2025年2月13日

摘要

随着我国医疗安全形势的大幅改善，重大医疗安全事故虽有所减少但形势依旧严峻。因此，研究人因因素在医疗事故中的作用对于预防事故具有重要意义。本文基于STAMP-HFACS方法对医疗系统事故的成因进行深入研究。首先介绍STAMP、HFACS的基本概念及其在事故分析中的特点。其次结合这两种方法提出STAMP-HFACS方法，即将HFACS结构的层级整合到STAMP安全控制结构的组件中，说明具体分析步骤并用于分析典型医疗事故。此外，采用HFACS结合灰色关联分析方法对医疗事故人因错误进行因素统计，包括HFACS四层级的四个指标以及其13个类别分别进行关联性分析，阐述各因素与医疗事故发生的相关程度以及深入分析医疗事故人因错误与各因素之间的关联性。结论指出医疗系统事故是多层级因素相互作用的结果，明确组织影响中管理层的失误即组织流程对事故发生的重要影响。该方法不仅能够详细深入地阐述该事故发生机理，还为预防和控制医疗事故提供了有效工具。

关键词

医疗事故，STAMP模型，HFACS模型，人与组织因素，灰色关联分析

Analysis of Medical System Accidents: Combined Application of STAMP-HFACS Method and Grey Correlation Degree

Hongyi Ding

Business School, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai

Received: Nov. 26th, 2024; accepted: Feb. 6th, 2025; published: Feb. 13th, 2025

Abstract

With the substantial improvement of China's medical security situation, although major medical safety accidents have decreased, the situation is still grim. Therefore, it is of great significance to study the role of human factors in medical accidents for the prevention of accidents. Based on the STAMP-HFACS method, this paper makes an in-depth study on the causes of medical system accidents. Firstly, the basic concepts of STAMP and HFACS and their characteristics in accident analysis are introduced. Secondly, combining these two methods, the STAMP-HFACS method is proposed, which integrates the hierarchy of the HFACS structure into the components of the STAMP safety control structure, and explains the specific analysis steps and is used to analyze typical medical accidents. In addition, HFACS combined with grey correlation analysis method was used to analyze the factors of human error in medical accidents, including four indexes of HFACS four levels and 13 categories. The correlation between human error in medical accidents and various factors was analyzed in depth, and the correlation between human error in medical accidents and the occurrence of medical accidents was expounded. The conclusion points out that the medical system accident is the result of the interaction of multi-level factors, and clarifies the important influence of management errors in organizational influence, that is, organizational process, on the occurrence of accidents. This method can not only elaborate the mechanism of the accident in detail, but also provide an effective tool for the prevention and control of medical accidents.

Keywords

Medical Negligence, Systems-Theoretical Accident Modelling and Processes (STAMP), Human Factors Analysis and Classification System (HFACS), Human and Organisational Factors, Grey Relational Analysis

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

近年以来,随着国家对医疗安全越来越重视,特别重大医疗安全事故鲜有发生,安全形势得到很大的好转。但是医疗系统中的事故仍有发生。英国国家医疗服务体系的数据显示,每年约有2%到8%的住院患者会遭受某种形式的医疗伤害,其中许多是由于人为错误[1]。世界卫生组织指出,全球范围内医疗错误是导致患者伤害的主要原因之一,其中人为因素占很大比例[2]。根据我国的一些研究显示,医疗事故中人为因素所占比例较高。例如,相关研究显示在我国某医院由于人为因素导致的医疗事故在所有医疗事故的占比量仍然较大。有研究分析了10年间的6610例医疗损害纠纷案件,发现医疗损害纠纷案件数量增加,而其中最常见损害原因是人为医疗技术损害(77.8%) [3]。因此,利用现有的医疗系统事故调查报告分析研究人因因素以及其他相关因素在医疗系统事故中的作用对于提高医疗质量、减少医患纠纷、预防医疗系统重大事故减少以及促进完善相关医疗规章制度具有重要的意义。

STAMP (系统理论事故建模与处理)由马萨诸塞州理工学院 Nancy Leveson 教授于2004年提出[4]。STAMP模型的核心在于它将安全视为一个动态的控制问题,而不是一个简单的故障预防问题。它强调安全约束的重要性,并将安全事故的发生归因于在系统开发和运行过程中对这些安全约束的不当控制或执行[5]。STAMP模型将事故视为不完全控制或系统内缺乏安全约束的结果,STAMP通过整合直接和间接

因素以及组织层次，系统组件对系统进行全面深入的分析，它能够处理人为决策、人为因素、新技术、社会和组织设计以及安全文化等在日益复杂的系统中变得越来越有威胁的因素[6]。而 HFACS 模型将人为错误分析细化为几个层级，每个层级则进一步细分为不同的类别和子类别，从直接的不安全行为到深层次的组织影响因素，为错误分析提供结构化框架。HFACS 方法不仅能够帮助事故调查人员系统科学地分析事故中的直接人为因素，并且深入探讨导致这些错误产生的更深层原因从而更好地理解事故成因，为预防类似事故提出建设性建议[7]。

2. STAMP-HFACS 事故模型

STAMP-HFACS 事故模型是一种混合的人为和组织分析方法，它结合了系统理论事故模型和过程(STAMP)和人因分析与分类系统(HFACS)的优点。STAMP-HFACS 模型通过整合 HFACS 中的人错误分类和 STAMP 的结构化系统分析过程，使得故障可以在整个组织中传播并对人为错误在事故中进行系统分析[8]。此前已有学者着手通过不同的方法实现 STAMP 与 HFACS 的结合[9]。目前 STAMP-HFACS 模型已在多领域研究中得到应用，例如 2011 年的 Yong-Wen 铁路碰撞事故通过应用该模型揭示了人为因素在事故中的显著原因，并提出必要的预防措施以避免类似事故的再次发生。以及应用不同模型来识别火灾爆炸事故中的贡献因素和关系并进行模型差异的对比，通过比较不同系统事故模型提供对事故的深入理解并为未来事故分析和预防提供新的视角[10]。也有研究提出的方法将 HFACS 的四个层级纳入 STAMP 安全控制结构中并重点识别组件间的不良交互[11]。Silvis-Cividjian 等研究者通过提出的方法用来识别放射治疗过程中的潜在风险和安全隐患，该系统理论方法可以与 HFACS 结合以识别和分类人为因素[12]。

现有研究对 STAMP-HFACS 分析方法应用于医疗系统事故的实例研究较少，大部分集中于理论研究或应用单个方法对现有案例的分析与研究以及其他领域。本文以 STAMP-HFACS 法对医疗系统事故进行分析，将 HFACS 分类框架纳入 STAMP 安全控制结构的四层级的分析中，不仅关注各层级组件之间的相互作用关系，也关注每个层级中组件的相互作用，并且能够充分识别事故涉及的人为和组织因素。

3. 案例分析

3.1. 基于医疗系统事故的 STAMP-HFACS 分析框架

本研究的 STAMP-HFACS 方法将 HFACS 结构的层级整合到 STAMP 安全控制结构的组件中，对案例进行更全面深入的研究，分析框架如图 1 所示。该分析流程包括以下部分：

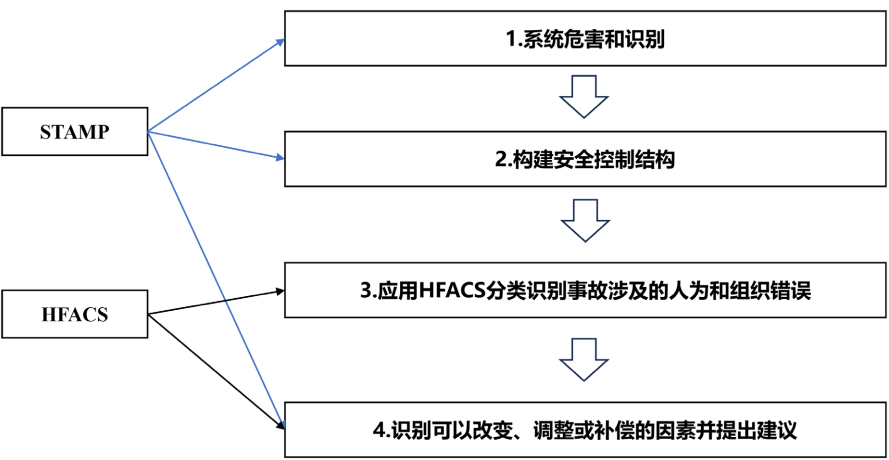


Figure 1. STAMP-HFACS method for accident analysis of medical system
图 1. 应用于医疗系统事故分析的 STAMP-HFACS 方法流程图

- (1) 系统危害和识别：基于 STAMP 识别系统和危害并确定安全约束，确定事故涉及的系统和子系统，识别可能导致事故的危害因素，根据系统安全要求确定必须满足的安全约束条件；
- (2) 构建安全控制结构并确定导致损失的直接事件；明确各个组件并分析分析控制流动和反馈循环，以及分析其他层面的干扰和危害并构建安全控制结构；
- (3) 应用 HFACS 分类识别事故涉及的人为和组织错误；将 HFACS 的层级整合到 STAMP 安全控制结构的组件中并分析其相关影响；
- (4) 识别可以改变、调整或补偿的因素并提出建议以防止相关事故的再次发生。

3.2. 基于 STAMP-HFACS 的医疗系统事故分析

通过对近年医疗系统中发生的事故进行回顾并选择典型案例进行分析。一男性 35 岁患者，在接受开颅手术后，为了监测和降低颅内压力，医生在其体内放置了脑室引流导管。随着病情的稳定，患者从重症监护病房(ICU)转移到普通病房继续接受治疗。在病房护理站，ICU 的护理人员在交接班时提醒新来的病房主护，患者身上有两条导管——一条是中心静脉导管(蓝色)，另一条是脑室引流导管(白色)，并且目前连接的三通阀门都是关闭状态。然而在交接过程中，护理人员未能陪同主护到患者床边进行实地查看和确认导管的实际状况。当天下午病房主护准备通过中心静脉导管给患者注射药物。在患者颈部附近主护发现了一条白色的导管且没有任何标识，并且连接着常用的三通阀门。主护误以为这条白色导管就是中心静脉导管。在主护准备对三通阀门进行消毒并注射药物时，主治医师恰好来到病房查房。医生注意到主护的动作后立即询问其意图并及时制止这一行为，同时强调白色导管为脑室引流导管并声明严禁通过其注射任何药物。

就现有医疗事故而言，事故并不是某一单一因素导致或系统某组件故障的结果，而是由于各层级组件以及每层级组件之间的耦合和相互作用而违反安全约束导致的结果。各层级组件的行为以及每层级组件之间的相互作用在不同的水平必须要限制在安全约束范围内。而分层控制则根据相互控制关系自顶向下划分不同层级，上层级为下层级的操作提供约束。不同层级或组件之间能够提供反馈，形成控制回路并做出决策。不同层级之间的交互关系可以用控制循环表示，其中包括安全约束和受控过程。构建事故安全控制结构是利用 STAMP 模型进行因果分析的基础。以上案例中系统的最终目的是正确给药行为的实施，而需满足的安全约束条件包括正确规范的操作流程、准确的患者信息传递和及时的医疗响应等。

图 2 显示了该医疗事故的安全层级结构控制图。该控制结构图不仅揭示了相邻层级之间的控制关系和反馈机制，也阐明了跨层级以及各层级内部的相互关系。

根据医疗事故的实际情况，安全控制结构可分为管理层、基层、物理层以及其他层面四个层次。(1) 管理层：医院的管理层结构，管理层涉及医疗资源的协调和整合、监督与评估、与各个层之间的沟通等。医疗系统中的安全管理和风险预测是必要的，以预防重大事故的发生和发生时能够迅速采取应对措施。管理层负责协调各层次之间的信息流动和决策，确保整个系统过程安全运行。(2) 基层：基层是医疗系统工作开展的直接操作层面。基层由相关医护人员构成。如主治医师、病房主护、加护病房护理人员等人员。基层医护人员需按制度进行正确规范的行为，落实安全措施，执行 SOP，确保对病人操作的连续性和正确性，防止错误操作。确保医疗系统的正常运行和安全。培训和提高基层医护人员的意识对预防事故至关重要。(3) 物理层：物理层由医疗系统中的设备、操作过程和外部环境构成。在医疗事故系统中，物理层需要重点关注如护理和行医等流程的可靠性、相关设备使用的正确性、标准操作流程的执行、外部环境的稳定性，防范物理因素造成的安全风险。物理层的维护和监控对于确保医疗系统安全至关重要。(4) 其他层面：包括政府、经济和社会。政府负责制定相关政策法规，通过建立相关的安全政策和标准来保证医疗系统安全运作，而社会对医疗安全和质量的期望以及预算限制会影响医院的政策和人力资源的

配置和培训。

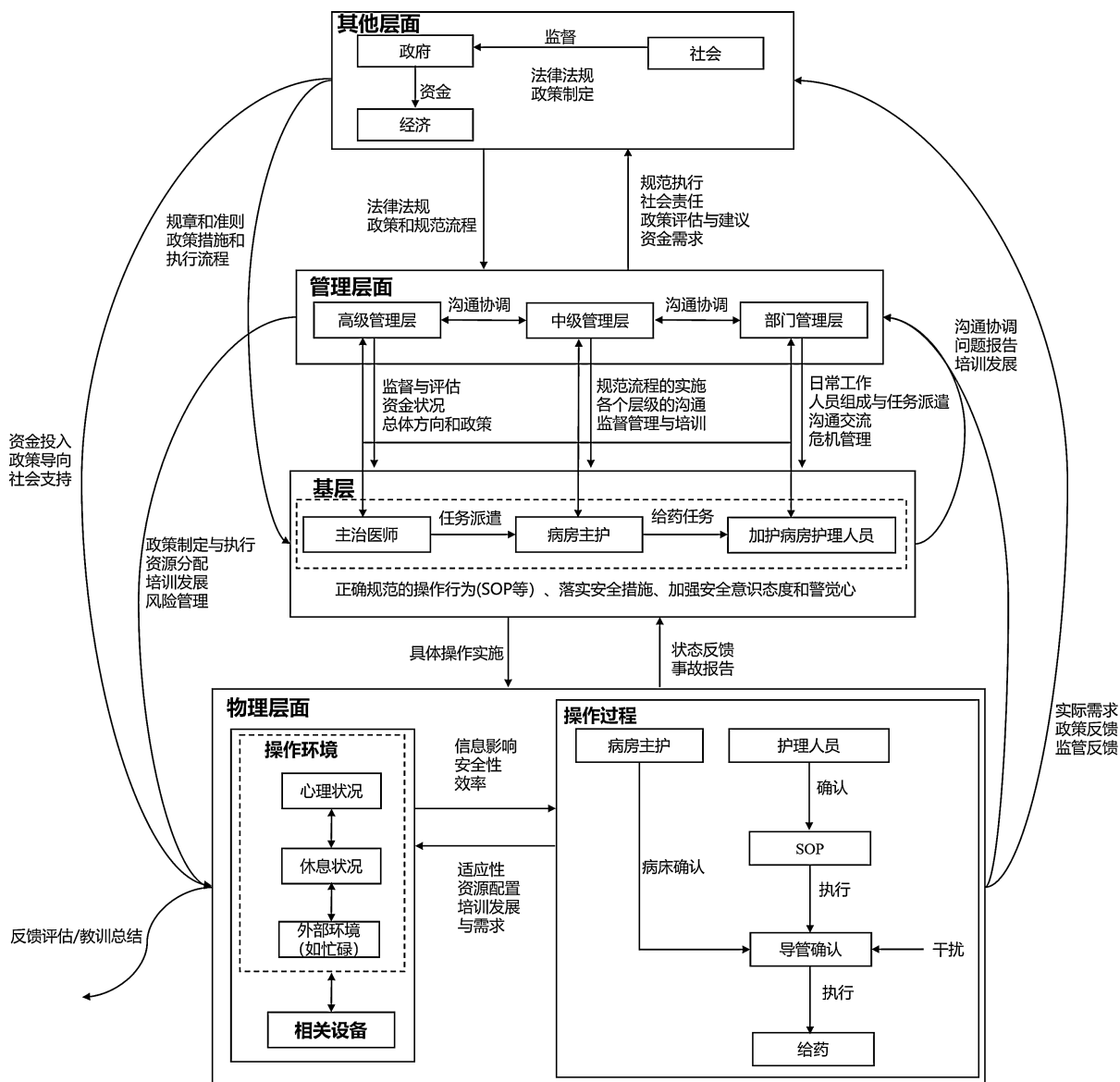


Figure 2. Safety hierarchy structure control chart of medical accident

图 2. 医疗事故的安全层级结构控制图

安全层级控制结构中本次事故有关的各组成部分的相关控制动作和职责和控制失效和反馈如下：

1. 系统管理层面的控制、失效与反馈：(1) 政策制定与执行：各级管理层缺乏针对明确的导管标识的规定和操作规程，导致新进人员无法正确识别导管类型。(2) 培训发展与沟通协调：新进病房主护缺乏充分的培训、未能掌握导管的正确识别和操作以及由于缺乏沟通和各级管理层对新进人员的评估以及人员规划等而导致未能使得导管识别错误的问题得到及时有效的修正。(3) 监督与评估：交班时部门管理层缺乏有效的监督，未能确保患者以及导管信息的准确传递。而各级管理层则通过与基层以及物理层医务工作人员和操作环境及过程的沟通协调、问题报告、培训发展和危机管理来调整和改进安全措施。

2. 系统基层操作层面的控制、失效与反馈：(1) 正确规范的操作行为：新进护理人员未能遵循标准

操作程序(SOP), 在未确认导管类型的情况下准备给药。(2) 沟通协调: 病房主护交班时的信息传递不充分, 未能确保关于导管的关键信息被准确理解。(3) 危机管理: 在潜在的危机情况即面对新进护理人员看到两根导管时并存在疑虑时, 缺乏选择正确有效的程序缺乏即时反馈和纠正措施。而基层医务工作人员则联合物理层对管理层进行状态反馈、事故报告和培训发展等信息决策流来提高医疗质量和安全性。

3. 系统物理层面的控制、失效与反馈: (1) 相关设备: 导管的标识不清晰增加了操作错误的风险。(2) 操作环境: 如医务工作人员的身心状况以及外部环境因素如忙碌等所带来的干扰。物理层联合基层工作人员通过反馈评估和事故报告对管理层以及社会、政府的资金投入和政策修缮来提高医疗系统安全制度水平。

4. 系统其他层面的控制、失效与反馈: 如预算不足等导致如不足以留任资深人员、影响医疗资源的分配和医疗服务的质量进而影响医务工作者的身心状况并与物理层因素变化相互影响。而影响医疗系统安全运行的其他外部因素如政府以及社会则通过法律法规、政策制定和资金投入来规范医疗行为和提供资源。

对 STAMP 法分析出的控制结构以及相关组件进行四层级分析。通过 STAMP 的分析结果将 HFACS 用于识别与事故相关的人为和组织因素, 如病房主护、主治医师、新进病房护理人员以及医院管理层的相关错误因素以及物理和外部其他环境因素, 分析结果如表 1 所示。

Table 1. The results of STAMP-HFACS analysis of medical accidents

表 1. 医疗事故的 STAMP-HFACS 分析结果

STAMP-HFACS 分类	组件	不安全控制行为	致因因素	相关组织因素	其他外部因素
组织影响	高级管理层	资深护理人员不足以至于无法进行充分的指导	作业节奏太快, 常态与非常态的作业节奏不同; 病人多造成时间压力;	高级管理的资源分配、政策制定与执行	政府、社会等资金以及预算不足
	部门管理层	资深管理人员不足安排新进人员接手重症病患	人员规划不足, 人力应重新分派	部门管理层的日常工作派遣、人员组成	
	中级管理层	主管与下属之间沟通匮乏	主管与下属没有沟通, 而没有知道态度问题; 因为主管无法亲近, 基层人员不敢说出态度问题; 主管不常出现而无法知道态度问题;	管理层之间的沟通协调;	政府、社会等对实际需求的信息反馈以及沟通不足
组织因素	部门管理层	没有评估新进人员就算遇到 EVD 也无法辨认	新进人员三个月内未碰到所以也没有接受相关指导; 不充分的紧急情况训练;	部门管理层的日常工作派遣以及危机管理	政府、社会等信息共享和报告机制不健全、对法律法规的制定与执行流程的监督不足
	高级管理层	忽略建立安全与风险评估	管理层缺乏对不良事件警觉心与端正的工作态度	高级管理层的监督与评估	
	高级管理层	不良行为的以及事件的研究	管理层缺乏对不良事件警觉心与端正的工作态度	高级管理层的风险管理	
	中级管理层	管理者对信息、风气、流程的监督 and 检查	管理层缺乏对不良事件警觉心与端正的工作态度	中级管理层对规范流程的实施	
不安全监督					

续表

人为因素	不安全行为	病房主护	未按照交班的 SOP(标准操作程序) (应该要到床边确认当时的实际情况)	病人过多; 作业节奏过快, 某一段时间需要完成大量工作; 存在侥幸心理, 认为执行标准工作流程也没有大碍; 缺乏不良事件警觉心与端正的工作态度; 作业节奏过快, 某一段时间需要完成大量工作; 病房内部的组织习惯, 习惯先满足病人需求;	管理层的监督评估与沟通、资源分配、培训和发展、规范流程的实施	政府、社会等对医疗事故处理和 Learning 机制不完善、医疗质量监控不足、培训和教育不足、资源分配不足
			两导管均为提供任何明确标示			
			没有做确认导管源头动作	太忙以至于不做确认动作; 过于自信; 对 EVD 作业不熟悉; 因为可能同事太凶导致新进人员不敢问;		
			应该实行三读五对(途径对)	新进人员缺乏医疗技术程序的知识; 过于自信; 作业节奏太快;		
		加护病房护理人员	选择错误程序 (未与护理人员或资深医疗人员沟通)	未与相关医护人员沟通, 没有使用全部可用资源; 过于自信; 作业节奏太快;		
			不当的风险评估, 当病房主护看到两根导管时应当存在疑虑而不是想自主的当然将白色导管当作中心静脉导管给药	有限的医疗经验与作业熟练度, 对 EVD 作业不熟悉; 医务工作者之间的沟通不足; 过于自信; 作业节奏太快;		

表 1 揭示了医院在患者安全管理、医疗设备显著标识、新进人员培训和监督、以及医疗操作规程中存在的问题。此外, 我们也发现此次事故还涉及到医疗设备的错误使用、标识不清和医疗操作失误问题。在医院, 医务工作人员依法承担患者护理和医疗设备使用的职责, 严格把好患者安全的第一道关口。医疗故事发当日, 由于新进病房主护未充分确认导管类型, 误将脑室引流导管当作中心静脉导管进行药物注射准备, 主治医师及时发现并制止了这一行为。该护理人员未遵循医疗操作规程, 对医疗设备的使用监管不严而酿成严重后果。

此外, 事发时由于缺乏明确的导管标识和未按照标准操作程序进行给药, 增加了医疗错误的风险。医院各级管理层在制定医疗操作规程和培训新进人员方面存在缺陷, 未能提供足够的技术培训指导和充足的医疗知识支持。医院各级管理层对于医疗设备的管理和使用缺乏有效的监督机制, 导致物理层设备存在易发生主观性错误的安全隐患, 也导致护理人员在紧急情况下可能采取错误的医疗操作过程和选择错误的程序。并且医院管理层在各层级的沟通与协调方面也存在不足, 未能确保与各层之间的沟通与问

题的及时纠正，这也是缺乏有效监督管理机制的具体体现。

这些问题的存在反映了医院在医疗质量和患者安全等方面的管理漏洞，可以通过如加强导管标识和操作规程的标准化；改进培训和教育以提升全员安全意识；建立不良事件报告和处理机制，通过分析不良事件找出问题的根源采取针对性的改进措施；优化沟通与协调机制，加强各层级之间的沟通与协调，确保信息的及时传递和问题的快速解决；增强基层工作人员的工作福利与保障机制使得他们的身心及工作环境得到及时良好的改善等措施来提高医疗安全水平。

4. 量化分析

4.1. 灰色关联分析法

STAMP-HFACS 方法基于理论模型对医疗系统事故致因机理进行了研究，该方法为定性研究法，描述了事故发生时各层级组件的相互作用关系，但无法定量的考察这些因素的相互关联并确定影响事故发生的主要因素。因此本章使用灰色关联分析法，定量分析各层级和类别之间的关联程度以识别导致医疗事故发生的主要因素。灰色关联分析法的核心思想是通过比较各个变量的发展趋势和变化规律，来揭示它们之间的关联性。这种方法能够处理不完全信息或不确定性的情况，对样本量的多少和样本有无规律都同样适用[13]。灰色关联分析具体步骤如下：

步骤一，确定比较和参考序列。参考序列由体现系统特征的指标构成并表示为 X_0 ，一般记为：

$$X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(n)\}$$

比较序列由影响事故发生的各种因素构成并表示为 X_i ，一般记为：

$$X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(n)\} \quad (i=1, 2, 3, 4, \dots, m), \quad (1)$$

其中， n 和 m 分别为参考序列和比较序列的数据数量。

步骤二，数据的无量纲化处理。其目的在于消除数据维度不同的影响并使得数据分布基本一致从而保证最终结果的准确性。处理公式为：

$$Y_0(k) = X_0(k) / \overline{X_0} \quad (k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (2)$$

$$Y_i(k) = X_i(k) / \overline{X_i} \quad (i=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (3)$$

式(2)为参考序列无量纲化公式，其中 $X_0(k)$ 为原始数据， $Y_0(k)$ 为无量纲化后的数据， $\overline{X_0}$ 是 $X_0(k)$ 的均值；

式(3)为比较序列无量纲化公式，其中 $X_i(k)$ 为原始数据， $Y_i(k)$ 为无量纲化后的数据， $\overline{X_i}$ 是 $X_i(k)$ 的均值。

步骤三，灰色关联系数的计算：

$$\varepsilon(k) = \frac{\min \min |Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max \max |Y_0(k) - Y_i(k)|}{|Y_0(k) - Y_i(k)| + \rho \max \max |Y_0(k) - Y_i(k)|} \quad (4)$$

$$(i=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, 3, \dots, n)$$

其中， $\rho \in (0, 1)$ 为辨别系数，一般取值为 0.5。

步骤四，灰色关联度计算并根据结果进行排序和分析。 $X_0(k)$ 与 $X_i(k)$ 之间的关联度用 ri 表示，即：

$$ri = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \varepsilon(k) \quad (i=1, 2, 3, \dots, m; k=1, 2, 3, \dots, n) \quad (5)$$

4.2. 医疗事故人因因素的灰色关联分析

本研究共选取近年来发生的 24 例医疗系统事故作为研究对象，通过上述 STAMP-HFACS 法对典型案例进行分析，并应用 HFACS 框架根据医疗事故的严重性分类对事故的人因错误因素进行统计，具体分类结果如图 3 所示。本研究中以医疗事故人因错误总数为参考序列 X_0 ，分别以组织影响 X_1 、不安全监督 X_2 、不安全行为的前提条件 X_3 、不安全行为 X_4 以及“X11 资源分配”、“X12 组织管理”、“X13 组织流程”等 13 个类别分别作为比较序列进行关联性分析。表 2 所示为 24 例医疗事故初始数据的统计结果。

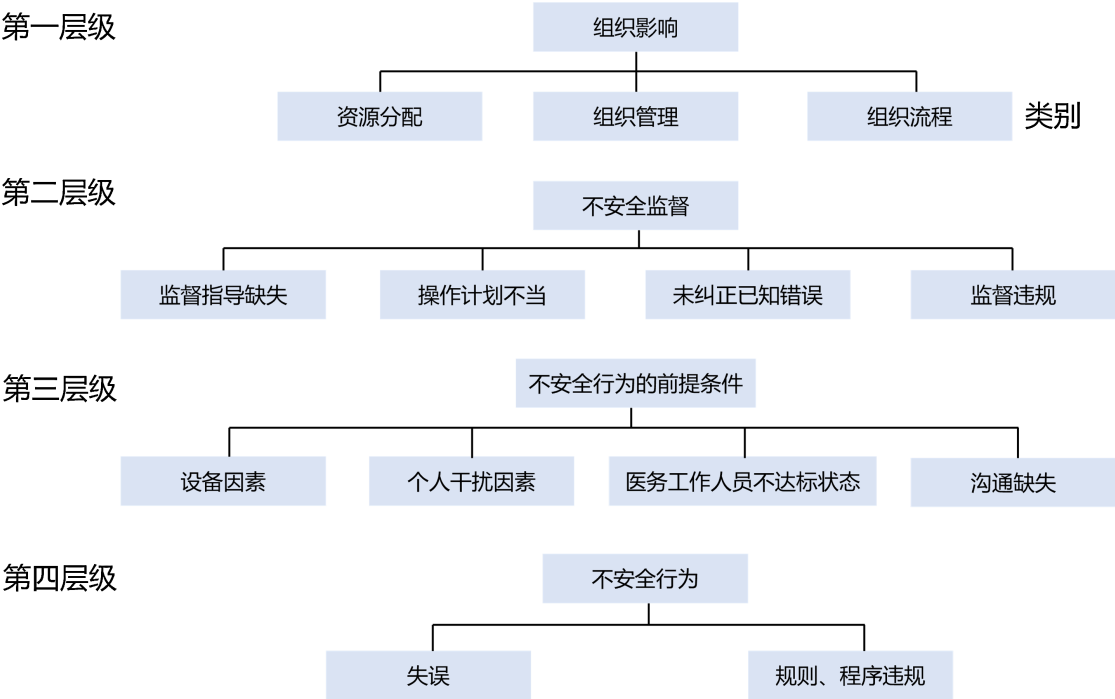


Figure 3. HFACS classification framework of medical accidents
图 3. 医疗事故的 HFACS 分类框架

Table 2. Grey relational analysis of medical accidents initial statistics
表 2. 医疗事故灰色关联分析初始统计数据

HFACS 层级与类别	严重事故	较大事故	一般事故
X1 组织影响	35	37	32
X11 资源分配	8	4	8
X12 组织管理	10	15	10
X13 组织流程	17	18	14
X2 不安全监督	22	30	18
X21 监督指导缺失	5	13	6
X22 操作计划不当	4	3	4
X23 未纠正已知错误	12	10	7
X24 监督违规	1	4	1

续表

X3 不安全行为的前提条件	38	40	28
X31 设备因素	5	5	5
X32 个人干扰因素	15	10	12
X33 医务工作人员不达标状态	12	15	7
X34 沟通缺失	6	11	4
X4 不安全行为	26	23	13
X41 失误	16	13	9
X42 规则、程序违规	10	10	4
合计 X_0	121	130	91

根据上述公式(2)、(3)对初始数据的序列进行无量纲化处理,以保证灰色关联分析的准确性。再由公式(4)、(5)计算出对应序列的关联系数和灰色关联度并进行统计分析和排序。其中初始数据的无量纲化结果见表3,表4为HFACS层级与类别的灰色关联度计算结果以及排序。

Table 3. The results of data dimensionless processing

表 3. 数据无量纲化处理结果

HFACS 层级与类别	严重事故	较大事故	一般事故
X1 组织影响	1.010	1.067	0.923
X11 资源分配	1.200	0.600	1.200
X12 组织管理	0.857	1.286	0.857
X13 组织流程	1.041	1.102	0.857
X2 不安全监督	0.943	1.286	0.771
X21 监督指导缺失	0.625	1.625	0.750
X22 操作计划不当	1.091	0.818	1.091
X23 未纠正已知错误	1.241	1.034	0.724
X24 监督违规	0.500	2.000	0.500
X3 不安全行为的前提条件	1.075	1.132	0.792
X31 设备因素	1.000	1.000	1.000
X32 个人干扰因素	1.216	0.811	0.973
X33 医务工作人员不达标状态	1.059	1.324	0.618
X34 沟通缺失	0.857	1.571	0.571
X4 不安全行为	1.258	1.113	0.629
X41 失误	1.263	1.026	0.711
X42 规则、程序违规	1.250	1.250	0.500
合计 X_0	1.061	1.140	0.798

Table 4. The results of GRA of HFACS levels and categories
表 4. HFACS 层级与类别的灰色关联度分析法结果

	灰色关联度	排序
X1 组织影响	0.875	2
X11 资源分配	0.572	12
X12 组织管理	0.767	6
X13 组织流程	0.916	1
X2 不安全监督	0.692	4
X21 监督指导缺失	0.621	10
X22 操作计划不当	0.702	7
X23 未纠正已知错误	0.781	3
X24 监督违规	0.452	13
X3 不安全行为的前提条件	0.993	1
X31 设备因素	0.771	4
X32 个人干扰因素	0.670	9
X33 医务工作人员不达标状态	0.803	2
X34 沟通缺失	0.611	11
X4 不安全行为	0.8009	3
X41 失误	0.769	5
X42 规则、程序违规	0.693	8

表 4 呈现了 HFACS 分类框架中 4 个层级以及 HFACS 四层级的 13 个类别中的灰色关联度计算结果。计算的输出结果表明，在所有层级中“X3 不安全行为的前提条件”的灰色关联度的值最大，对医疗事故发生的影响最为显著；而“X2 不安全监督”与事故发生之间的关系最弱；其余类别“X1 组织管理缺失”、“X4 不安全行为”的关联度值分别处于第二、三位。在 HFACS 四层级的 13 个类别中可以观察到，“X13 组织流程”的灰色关联度值最高且达到 0.916，其中“X12 组织管理”、“X13 组织流程”、“X23 未纠正已知错误”、“X31 设备因素”、“X33 医务工作人员不达标状态”以及“X41 失误”与医疗事故人因总数之间关联度的值均大于 0.750，因此对医疗事故的影响都不容忽视。通过上述分析可知，医疗系统中组织流程即组织制定的详尽规范的操作标准和应急计划，而在实际执行中有时会出现偏离这些计划的行为，规范流程及操作甚至可能仅作为应付检查的形式存在。且在实际行医过程中存在许多干扰因素如医务工作人员的休息状况、身心状况、外部干扰因素如忙碌、人际关系压力等可能会导致医务工作人员在实际操作过程中忽视既定的操作规程如未能遵循标准操作程序(SOP)，增加了医疗事故的风险。同时，由于组织管理中安全监管流程的实施无法做到实时监督，当医护人员出现不安全行为或未纠正已知错误时，组织及管理者可能无法及时进行干预和修正。

综上所述，医疗系统事故的发生是众多因素共同作用的结果。通过运用 HFACS 理论结合灰色关联理论，不仅揭示各因素之间的关联性得出更深层次的分析结果，并且减少了主观判断对分析结果的干扰。此外，这种分析方法的结合有效弥补了 STAMP-HFACS 方法无法在定量分析方面的局限性，使得医疗系统中各人因因素的作用得以量化。这样可以更有针对性地预防和减少医疗事故中人因不安全行为所带来的风险，从而提升医疗系统服务过程中的安全性。

5. 结论

医疗系统事故的发生是多层级因素相互作用的结果。在本文中我们集成 STAMP 和 HFACS, 首先采用 STAMP 识别系统危害以及安全约束并明确各个层级和控制组件, 分析各层面的相互关系以及反馈循环, 其次将 HFACS 结构的分类层级整合到 STAMP 安全控制结构的组件中识别与事故相关的人为和组织因素以及其他相关因素以构建一个混合的方法对具体案例进行分析, 明确组织影响即管理层失误因素对事故发生的重要影响。此外, 本文中还利用计算灰色关联度的量化方法对 24 例医疗事故进行人因错误因素分析, 包括 HFACS 四层级的四个指标以及其 13 个类别分别进行关联性分析, 更进一步明确组织影响中管理层失误即组织流程对事故发生的重要影响, 较好地解各类因素在医疗事故中的作用程度, 有助于为预防医疗系统事故找到侧重点。通过以上分析不仅能够更加详细深入地阐述解释医疗系统事故的机理, 并且还对医疗事故人因因素进行定量分析, 也为其他医疗事故成因分析提供了宝贵的经验教训并展现了实际应用价值, 在帮助医院管理层以及医务工作人员更好地理解、预防和控制医疗事故发生风险方面提供有效帮助。

需要承认的是, 本研究的分析和量化方法在分析医疗系统事故中还有改进的余地。首先, 需要进行进一步更广泛的研究以提高该方法分析的普适性和深入性。后续研究可尝试在 STAMP-HFACS 分析结果基础上联合系统动力学方法, 对系统多维度深层次、各因素因果关系和反馈循环以及系统的动态迁移进行有效分析。此外, 本研究考虑了 HFACS 框架及其类别中各因素和人因错误总数之间的关系, 还未对各因素间相互作用对事故的影响进行研究。未来可以探究各因素间相互作用与事故之间的关系, 以更全面深入地分析医疗事故的致因机理。

参考文献

- [1] Faustino, T.N., da Silva Batalha, E.M.S., Vieira, S.L., Nicole, A.G., Morais, A.S., Tronchin, D.M.R., *et al.* (2018) National Patient Safety Program in Brazil: Incidents Reported between 2014 and 2017. *Journal of Patient Safety*, **17**, e1202-e1208. <https://doi.org/10.1097/pts.0000000000000496>
- [2] Donaldson, L.J., Kelley, E.T., Dhingra-Kumar, N., Kieny, M. and Sheikh, A. (2017) Medication without Harm: Who's Third Global Patient Safety Challenge. *The Lancet*, **389**, 1680-1681. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(17\)31047-4](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(17)31047-4)
- [3] 盖小荣. 医疗不良事件与系统问题相关因素的分析[J]. 中国护理管理, 2010, 10(10): 48-50. <http://www.zghlgl.com/CN/Y2010/V10/I10/48>
- [4] Leveson, N. (2004) A New Accident Model for Engineering Safer Systems. *Safety Science*, **42**, 237-270. [https://doi.org/10.1016/s0925-7535\(03\)00047-x](https://doi.org/10.1016/s0925-7535(03)00047-x)
- [5] Leveson, N.G. (2016) Engineering a Safer World: Systems Thinking Applied to Safety. The MIT Press. <https://mitpress.mit.edu/>
- [6] Gong, Y. and Li, Y. (2018) Stamp-Based Causal Analysis of China-Donghuang Oil Transportation Pipeline Leakage and Explosion Accident. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, **56**, 402-413. <https://doi.org/10.1016/j.jlp.2018.10.001>
- [7] Lower, M., Magott, J. and Skorupski, J. (2018) A System-Theoretic Accident Model and Process with Human Factors Analysis and Classification System Taxonomy. *Safety Science*, **110**, 393-410. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2018.04.015>
- [8] Li, C., Tang, T., Chatzimichailidou, M.M., Jun, G.T. and Waterson, P. (2019) A Hybrid Human and Organisational Analysis Method for Railway Accidents Based on STAMP-HFACS and Human Information Processing. *Applied Ergonomics*, **79**, 122-142. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2018.12.011>
- [9] Harris, D. and Li, W.-C. (2011) An Extension of the Human Factors Analysis and Classification System for Use in Open Systems. *Theoretical Issues in Ergonomics Science*, **12**, 108-128. <https://doi.org/10.1080/14639220903536559>
- [10] Zhang, Y., Jing, L. and Sun, C. (2018) Systems-Based Analysis of China-Tianjin Port Fire and Explosion: A Comparison of HFACS, AcciMap, and STAMP. *Journal of Failure Analysis and Prevention*, **18**, 1386-1400. <https://doi.org/10.1007/s11668-018-0534-1>
- [11] Salmon, P.M., Cornelissen, M. and Trotter, M.J. (2012) Systems-Based Accident Analysis Methods: A Comparison of Accimap, HFACS, and STAMP. *Safety Science*, **50**, 1158-1170. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2011.11.009>

- [12] Silvis-Cividjian, N., Verbakel, W. and Admiraal, M. (2020) Using a Systems-Theoretic Approach to Analyze Safety in Radiation Therapy-First Steps and Lessons Learned. *Safety Science*, **122**, Article 104519. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2019.104519>
- [13] Liu, S., Yang, Y., Cao, Y. and Xie, N. (2013) A Summary on the Research of GRA Models. *Grey Systems: Theory and Application*, **3**, 7-15. <https://doi.org/10.1108/20439371311293651>