

基于多元相关及优化算法的复杂母婴行为特征优化

李默涵¹, 周闰成^{1,2}, 冯如^{2,3}, 计钰泉^{2,4}, 饶佳静^{3,4}, 何云凯^{4,5}, 韦思莹^{5,6}, 李佳仪^{5,6}

¹ 山东水利职业学院 山东日照

² 佛山科学技术学院 广东佛山

³ 广东工商职业技术大学 广东肇庆

⁴ 南昌航空大学 江西南昌

⁵ 兴义民族师范学院 贵州兴义

⁶ 南昌工程学院 江西南昌

【摘要】该论文深入探究了母亲的身体指标与心理指标和婴儿行为特征之间的复杂关系,并进一步提出了具有创新性的数学建模方法来预测和解析这些关联。论文的研究方法严谨,首先进行了数据预处理,以确保数据的准确性和可用性,然后通过统计分析技术,精准地揭示了母亲健康状况与婴儿行为特征之间的内在联系。在这个过程中,聚类技术被有效应用,帮助研究者在复杂的数据中找出具有相似特性的群组,进一步加深了我们对母亲和婴儿关系的理解。该论文成功地构建了优化模型,这一模型旨在减少治疗矛盾型婴儿行为特征的成本。这不仅提供了一个全新的视角来看待婴儿行为特征的问题,也为实现向中等型与安静型的转变提供了经济可行的策略。

【关键词】相关性分析; k - means 聚类; 整数规划模型; 欧氏距离

【收稿日期】2023 年 9 月 2 日 **【出刊日期】**2023 年 10 月 24 日 **【DOI】**10.12208/j.ijmd.20230122

Optimization of complex maternal and child behavior characteristics based on multivariate correlation and optimization algorithms

Mohan Li¹, Runcheng Zhou^{1,2}, Ru Feng^{2,3}, Yuquan Ji^{2,4}, Jiajing Rao^{3,4}, Yunkai He^{4,5}, Siying Wei^{5,6}, Jiayi Li^{5,6}

¹Shandong Vocational College of Water Conservancy, Rizhao, Shandong

²Foshan University of Science and Technology, Foshan, Guangdong

³Guangdong Polytechnic University of Industry and Commerce, Zhaoqing, Guangdong

⁴Nanchang Hangkong University, Nanchang, Jiangxi

⁵Xingyi Normal University for Nationalities, Xingyi, Guizhou

⁶Nanchang Institute of Technology, Nanchang, Jiangxi

【Abstract】 The paper deeply explores the complex relationship between maternal physical and psychological indicators and infant behavioral characteristics, and further proposes innovative mathematical modeling methods to predict and analyze these associations. The research method of the paper is rigorous. First, data preprocessing is conducted to ensure the accuracy and usability of the data. Then, through statistical analysis techniques, the intrinsic relationship between maternal health status and infant behavioral characteristics is accurately revealed. In this process, clustering technology is effectively applied to help researchers identify groups with similar characteristics in complex data, further deepening our understanding of the relationship between mothers and infants. This paper successfully constructed an optimization model, which aims to reduce the cost of treating contradictory infant behavior characteristics. This not only provides a new perspective on the issue of infant behavioral characteristics, but also provides economically feasible strategies for achieving a shift towards intermediate and quiet types.

【Keywords】 Correlation analysis; K-means clustering; Integer programming model; Euclidean distance

前言

婴儿期的行为特征受母亲与婴儿的互动影响, 母亲的身心健康对婴儿的成长至关重要。已有研究表明, 母亲的依恋类型和抑郁症状与婴儿行为发育有关。母亲的情绪稳定和心情愉快也对婴儿的免疫系统和睡眠有影响。本研究收集了三百多对母婴数据, 旨在分析母亲身心指标与婴儿行为特征的关联性, 并预测婴儿行为特征。通过经济可行的干预, 提升母亲心理健康, 促进婴儿健康成长。

1 数学模型建立

1.1 关联分析

本部分的重点在于探索亲身体指标与心理指标对婴儿行为特征和睡眠质量的影响关系, 具有深刻的实际意义。了解母亲的身心健康如何影响婴儿的成长, 有助于制定更有效的干预策略, 促进婴儿的全面发展。

(1) 指标量化

我们将收集到的 389 份问卷调查数据输入 Excel 表格, 进行数据清洗, 将睡眠时间由小时转换为分钟, 并删除以小时为单位的睡眠时间列以避免数据重复。同时, 为了进行相关性分析, 我们将婴儿行为特征的三种类型进行量化, 分别为安静型 (0.5)、中等型 (0.7) 和矛盾型 (1), 使数据规范化, 以便更精确地研究婴儿的睡眠情况与行为特征之间的关系。

(2) Spearman 相关性分析

Spearman 相关性分析是一种用于衡量两个变量之间的非线性相关性的统计方法。它基于数据的排序而不是具体的数值, 因此可以用于处理非正态分布的数据, 以及在数据中存在异常值的情况^[2]。

我们对收集到的数据进行了 Spearman 相关性分析, 得到如下结果:

分娩方式与 CBTS 正相关, 婴儿整晚睡眠时间与行为特征也正相关。婴儿睡眠数与母亲情况、CBTS、EPDS 和 HADS 关系不大, 但与婴儿性别、年龄和睡醒次数微弱相关。婴儿行为特征与其年龄、睡醒次数和入睡方式强相关。母亲年龄与教育程度正相关。CBTS、EPDS 和 HADS 与母亲情况相关性不大, 但与婴儿情况有微弱相关性。母亲妊娠和分泌方式影响婴儿睡醒和入睡。

1.2 行为特征分析

本部分旨在建立模型, 探究婴儿行为特征与母

亲身体指标的关系, 为后续预测提供依据。通过数学建模和分析, 揭示潜在规律, 为婴儿健康和干预策略提供新视角。期望在婴儿成长与母亲健康关系领域取得突破。

(1) 聚类分析

我们按照婴儿行为特征分类数据, 利用 K-means 聚类分析探究不同母亲身心指标组合下的婴儿行为特征聚类情况。K-means 聚类步骤包括初始化、分配数据点到最近中心、更新中心和重复迭代。算法优化目标是最小化数据点到所属聚类中心距离的平方和。根据上述步骤, 对数据进行聚类分析, 得到如下结果, 见表 1。

(2) 模型验证

为验证模型准确率, 我们采用了一种基于欧氏距离的方法。此方法充分利用了已建立的模型, 通过对待分类母亲信息 $y_0 = [y_1, y_2, y_3, \dots, y_n]$ 与每个类别的婴儿行为特征所对应的母亲身体及心理指标的特征值 $X_i = [x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, \dots, x_{in}]$ 之间的欧氏距离平方的计算来度量它们的差异程度。具体而言, 我们通过以下公式计算差异度 D_i :

$$D_i = \|y_0 - X_i\|^2$$

其中, D_i 表示待分类母亲信息与第 i 类母亲身体及心理指标的特征值之间的差异程度。当我们取得最小值 $D = \min\{D_1, D_2, \dots, D_m\}$ 时, 我们可以将待分类母亲信息与第 i 类的母亲身体及心理指标的特征进行匹配, 从而预测其婴儿行为类型与第 i 类所对应的婴儿行为特征相符。根据上述模型, 我们选取的测试集及测试结果如下, 见表 2。模型准确率为 70%, 模型基本满足条件, 可用于预测未知婴儿特征。

1.3 干预策略

对母亲焦虑的干预有助改善母婴交互质量, 促进婴儿的认知、情感和社交发展。CBTS、EPDS、HADS 的治疗费用相对于患病程度的变化率均与治疗费用呈正比, 经调研, 给出了两个分数对应的治疗费用, 详见表 5。现有一个行为特征为矛盾型的婴儿, 编号为 238。

现需要建立模型, 分析最少需要花费多少治疗费用, 能够使婴儿的行为特征从矛盾型变为中等型? 若要使其行为特征变为安静型, 治疗方案需要如何调整?

为了解决这一问题, 我们需要建立一个全面的数学模型^[4], 涵盖了患病程度的量化、费用与患病程度的关系、费用与特征指标的关系以及如何通过优化达到我们的目标。

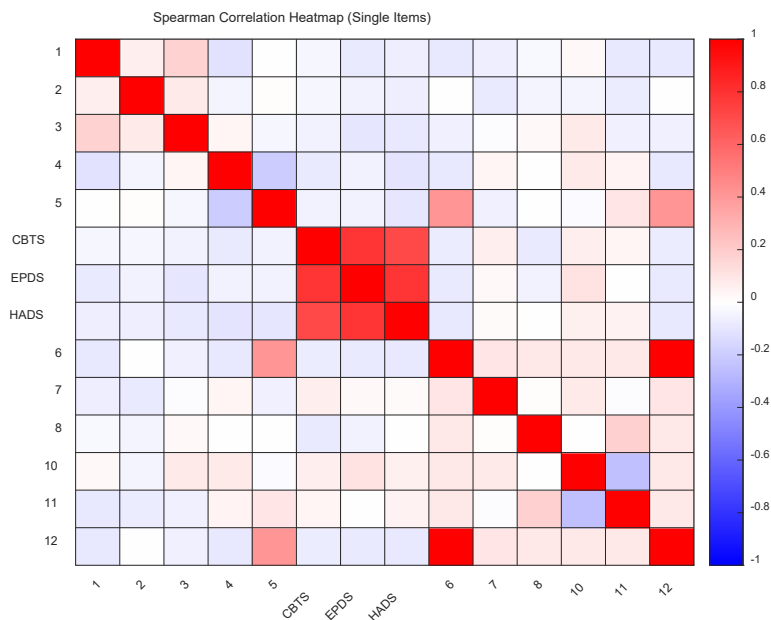


图 1 相关系数热力图

表 1 聚类分析结果表

聚类种类	中心值 _母亲年龄	中心值 _婚姻状况	中心值 _教育程度	中心值_ 妊娠时间 (周数)	中心值 _分娩方式	中心值 _CBTS	中心值 _EPDS	中心值 _HADS	
1	30.75675676	2.013513514	4.067567568	39.07297297	1.013513514	2.432432432	4.013513514	4.864864865	安静型
2	31.25	2	3.972222222	39.175	1	11.27777778	15.86111111	11.83333333	
3	30.63694268	1.974522293	4.23566879	39.11783439	1.025477707	3.847133758	5.72611465	6.146496815	中等型
4	28.94736842	1.98245614	3.859649123	38.8877193	1	12.43859649	18.42105263	12.8245614	
5	26.35714286	1.928571429	3.785714286	39.13571429	1	9.428571429	16	11.64285714	矛盾性
6	31.71428571	2	4.380952381	39.17619048	1	3.428571429	6.095238095	6.095238095	

表 2 测试集及测试结果

编号	母亲年龄	婚姻状况	教育程度	妊娠时间 (周数)	分娩方式	CBTS	EPDS	HADS	婴儿原特征	婴儿测试特征	是否正确
380	32	2	5	40	1	5	5	3	安静型	安静型	是
381	31	2	5	40	1	10	20	11	中等型	中等型	是
382	24	1	2	37.6	1	6	14	14	中等型	矛盾型	否
383	28	2	4	42	1	11	12	5	中等型	矛盾型	否
384	25	2	5	37	1	6	7	9	中等型	中等型	是
385	27	2	5	42	1	12	20	14	中等型	中等型	是
386	31	2	3	39	1	4	7	12	中等型	中等型	是
387	31	2	5	41.6	1	0	3	1	安静型	安静型	是
388	27	2	3	40	1	1	10	5	安静型	中等型	否
389	32	2	5	37	1	10	10	6	中等型	中等型	是

表 4 238 号婴儿母婴情况表

CBTS	EPDS	HADS	婴儿行为特征
15	22	18	矛盾型

表 5 患病得分与治疗费用

CBTS		EPDS		HADS	
得分	治疗费用 (元)	得分	治疗费用 (元)	得分	治疗费用 (元)
0	200	0	500	0	300
3	2812	2	1890	5	12500

Step 1: 量化患病程度与治疗费用

我们首先考虑如何将母亲的 CBTS、EPDS 和 HADS 得分与其患病程度联系起来。为了量化这种关系, 我们引入患病程度函数 $f(x)$, 其中 x 代表母亲的得分。这个函数的表达式是:

$$f(x) = \frac{x_{max} - x}{x_{max} - x_{min}}$$

这里, $x_{max} = 30$ 表示满分, $x_{min} = 0$ 表示最低分。 $f(x)$ 的取值范围在 $[0, 1]$ 之间, 值越接近 1 表示患病程度越轻。

Step 2: 构建治疗费用与患病程度的关系

问题中指出患病程度的变化率与治疗费用成正比。我们定义变化率函数 $h(x)$ 表示由特定得分 x 引起的患病程度变化率:

$$h(x) = 1 - f(x) = \frac{x}{30}$$

考虑到这种关系, 我们可以引入参数 k 和 b , 将治疗费用 $P(x)$ 表达为:

$$P(x) = k \cdot h(x) + b$$

Step 3: 构建治疗费用函数:

在实际问题中, 我们需要根据提供的数据来构建具体的费用函数。对于 CBTS、EPDS 和 HADS, 我们可以分别得到治疗费用的函数表达式:

$$P_C(x) = 23508 \cdot \frac{x}{30} + 200$$

$$P_E(x) = 19460 \cdot \frac{x}{30} + 500$$

$$P_H(x) = 61000 \cdot \frac{x}{30} + 300$$

Step 4: 分析特定情况下的费用变化

为了更好地理解模型的应用, 我们考虑特定情况下的费用变化。以 CBTS 为例, 当 CBTS 得分由 x_1 变为 x'_1 时, 对应的费用变化为:

$$\Delta P_C = P_C(x_1) - P_C(x'_1)$$

同样地, 我们也可以类似地计算 EPDS 和 HADS 的费用变化。分别为:

$$\Delta P_E = P_E(x_2) - P_E(x'_2)$$

$$\Delta P_D = P_D(x_3) - P_E(x'_3)$$

若母亲的 CBTS, EPAS, HADS 值由 $[x_1, x_2, x_3]$ 变为 $[x'_1, x'_2, x'_3]$ 时,

$$P = \Delta P_C + \Delta P_E + \Delta P_D$$

令安静型对应的母亲特征值为 A_{i_1} ($i_1=1, 2, 3, \dots, m_1$), 中等型母亲特征值为 B_{i_2} ($i_2=1, 2, 3, \dots, m_2$), 矛盾型对应的母亲特征值为 C_{i_3} ($i_3=1, 2, 3, \dots, m_3$), $A_{i_1}, B_{i_2}, C_{i_3}$, 已经在行为特征分析中聚类结果中给出。

在本模型中, 选用的特征为编号为 238 的母亲身体指标和心理指标为 x_i , 改变后的指标为 x'_i , 则花费为 P , 则:

$$P = \Delta P_C + \Delta P_E + \Delta P_D$$

Step 5: 构建优化规划模型

为了达到问题中的目标 1, 该模型的目标是找到在满足特定约束条件的情况下, 使得治疗费用最小化的最优解。

优化模型的表达式如下:

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && P \\ & \text{subject to} && d_{i2} < d_{i1}, d_{i2} < d_{i3} \\ & && x_i, x'_i \in Z, x_i > 0 \\ & && d_{i1} = \|X - Ai1\|^2 \\ & && d_{i2} = \|X - Bi2\|^2 \\ & && d_{i3} = \|X - Ci3\|^2 \end{aligned}$$

其中, d_{i1} 、 d_{i2} 和 d_{i3} 分别表示安静型、中等型和矛盾型的欧氏距离。

根据这个优化模型, 所求得最优解:

转变为中等型的分数分别为[14, 21, 17], 所对应的分别为 CBTS, EPAS, HADS; 治疗费用为 3465.60 元。

同理, 为了达到问题中的目标 2, 其优化模型表达式为:

$$\begin{aligned} & \text{minimize} && P \\ & \text{subject to} && d_{i1} < d_{i2}, d_{i1} < d_{i3} \\ & && x_i, x'_i \in Z, x_i > 0 \\ & && d_{i1} = \|X - Ai1\|^2 \\ & && d_{i2} = \|X - Bi2\|^2 \\ & && d_{i3} = \|X - Ci3\|^2 \end{aligned}$$

根据这个优化模型, 所求得最优解:

转变为安静型的分数分别为[14, 14, 17], 所对应的分别为 CBTS, EPAS, HADS; 治疗费用为 8006.27 元。

2 结论与展望

本研究探讨了母亲身心健康与婴儿行为特征、睡眠质量的关联, 揭示了母亲年龄、教育程度、心理状态的影响, 提供了干预建议。研究仍有局限性, 需

更多数据验证。本研究为母婴关系和婴儿发展提供了参考, 未来将继续优化模型, 拓展范围, 为家庭健康与儿童成长贡献知识。

参考文献

- [1] 徐琴香,吴明霞,刘润生,谢卓庭.母亲依恋类型与婴儿社会退缩的关系:母亲抑郁的中介作用[J].心理学进展,2023,13(3):955-962.
- [2] 卓建武. 基于跨模态相关性分析与自适应排序学习的推荐系统研究[D].华东交通大学,2022.
- [3] 高瑞龙. 双馈感应发电机故障预警方法研究[D].宁夏大学,2022.
- [4] 周成龙,陈玉明,朱益冬.粒 K 均值聚类算法[J].计算机工程与应用,2023,59(13):317-324.
- [5] 周斌.基于数论的纯整数规划问题的解法研究[J].大理大学学报,2023,8(06):14-19.

版权声明: ©2023 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

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



OPEN ACCESS