

基于库存模型法的药品采购与库存控制策略

宋毅斐*, 鹿岩, 孙世光(山东中医药大学第二附属医院药剂科, 济南 250001)

中图分类号 R95 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)01-0070-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.01.23

摘要 目的:探讨利用医疗机构信息管理系统中普遍具有的库存上、下限设定功能,通过模型预测和控制策略来获取药品零库存管理模式下药房药品的最优库存运行状态。方法:借鉴运营管理学、时间序列分析和定量管理决策方法,构建“多品种联合订货模型”,即基于历史数据和相应的数学模型(固定订货间隔模型与再订货点模型,即FOI与ROP)预测药品库存的上下限,并将结果与真实数据对比检验,在此基础上制订具体的药品采购和库存控制策略,再与模型实施前数据比较以评价其应用效果。结果:建立的模型经误差和重现性检验,缺货率低于3.36%,其中71.24%可以有效预警;在计算机仿真运行和实际执行状态下,紧急补货率分别降低9.33%、13.03%,断货率分别降低11.11%、27.45%,日均库存周转率分别提高30.19%、15.85%,均较模型实施前有显著改善。结论:本模型具备良好的精度和可操作性,可以为零库存管理模式下的药品采购和库存控制提供科学合理的决策支持。

关键词 零库存管理;多品种联合订货模型;数学模型;模型预测;时间序列;库存控制策略

Medicine Procurement and Inventory Control Strategies Based on Inventory Model Approach

SONG Yifei, LU Yan, SUN Shiguang (Dept. of Pharmacy, the Second Affiliated Hospital of Shandong University of TCM, Jinan 250001, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To work out the optimal inventory levels in zero inventory management mode through model prediction and control strategy, by using the inventory upper & lower limits settings generally available in the information management system of health care institutions. METHODS: “Multi-varieties joint ordering model” was constructed by referring to operations management, time series analysis and quantitative approach to decision-making, that is, to make a prediction of upper & lower limits on medicine inventory based on historical data and applicable mathematical models (fixed order interval model and re-order model, i.e. FOI and ROP), and compared with real results; based on above, specific medicine procurement and inventory control strategies would be developed and an evaluation of the application effects would be made. RESULTS: The error test and reproducibility test exhibited that the out-of-stock ratio remained under 3.36%, of which 71.24% could be effectively alarmed; under computer simulation and practical operation, the instant replenishment rate reduced by 9.33% and 13.03%, OOS ratio down by 11.11% and 27.45%, and average daily inventory turnover rate up by 30.19% and 15.85% respectively, all showing remarkable improvements compared to before the implementation of the mode. CONCLUSIONS: This model is of favorable accuracy and operability, therefore it can lay foundation for rational and well-founded decisions in medicine procurement and inventory control in zero inventory management mode.

KEYWORDS Zero inventory management; Multi-varieties joint ordering model; Mathematical model; Model prediction; Time series; Inventory control strategy

现代物流和信息技术的发展使医疗机构日益关注自身的运营成本控制,药库的零库存管理模式应运而生^[1]。对于医院而言,零库存并不是盲目地减少库存,或者库存简单地向供应链的上下游分解,而是基于联合库存管理(Jointly managed inventory, JMI)^[2]和契约协作的思路来整合系统、简化层次,使物料(药品)最大限度地处于周转而非存储状态,从而减少资金和资源占用,提升总体效率。在零库存管理模式下,采购的决策职能转移到一线药房,同时需求信息的扭曲放大现象(牛鞭效应, Bullwhip effect)被削弱,因此精确的需求预测成为整个采购工作的核心,而引入科学合理的数学模型方法无疑是避免主观性和随意性的重要手段。

在现代医院的信息管理系统(HIS)中,基本都具有药品库存的上、下限报警功能,但其具体参数多依赖使用者的经验或者简单的算术平均法设定,有的甚或弃之不用。药品的库存

管理属于运营管理的范畴,因此可借鉴运营管理相关的理论、方法和模型;而药房药品的日常消耗(需求),也具备时间序列的特征,也可以用一定的数学模型进行预测。本文旨在利用运营管理学^[3]、时间序列分析^[4]和定量管理决策^[5]方法,结合实例,构建“多品种联合订货模型”,对药品消耗进行科学预测,并将预测结果应用到HIS的库存上、下限设定功能中,最终通过合理的采购策略来实现最优的库存控制水平。

1 模型理论基础

一般而言,订货量越低,则平均库存越低,其持有成本(资金占用、仓储管理等)也越低,但订货成本(物流、验收等)却会上升,还可能因缺货带来其他成本(贻误治疗、纠纷等),因此库存成本与订货量之间并非简单的线性关系,因关注点不同而有不同的方法与模型。目前被国内外广泛研究的库存管理模型主要有3种:经济订货批量模型(Economic order quantity model, EOQ)、固定订货间隔模型(Fixed-order-interval model, FOI)、再订货点模型(Reorder point model, ROP)。各模型核

* 主管药师。研究方向:临床药学、药事管理。电话:0531-82422526。E-mail:songyifei-21@163.com

心、特征及控制目标的比较见表1。

表1 3种订货模型的比较

Tab 1 Comparison of three kinds of ordering models

模型	核心	特征	控制目标
EOQ	研究一定时间范围内使总成本最低的采购批量(每次采购量)和批次	采购批量由成本函数求得,与采购周期无关;在需求存在变动的情况下,采购批量为常量,采购周期为变量	阶段性总成本
FOI	先参考诸多因素确定合理的采购周期,再依此研究采购批量	在需求存在变动的情况下,采购周期为常量,采购批量为变量	服务水平
ROP	研究提前期(从订货到收货时间)对采购时点的影响	常配合EOQ用于采购时间决策	缺货率

药品和医疗耗材的库存管理,研究最多的是以成本为核心的EOQ^[6-10],但其存在一定局限:首先,由于缺少统一的度量标准,各类成本依据的主要是评估值,而非确定值,计算结果的可靠性存疑;其次,可能因持有成本的过度优势,导致最优订货量和间隔时间极低而失去意义,或者受制于提前期等因素而成为事实上的FOI;最后,EOQ须逐一进行控制,在目标品种较多时,必然因需求和采购时点各异而遇到严重的效率问题,因此相关研究多停留在理论和局部个例阶段。与EOQ比较,采用FOI模型时,为应对更长时期的不确定性而要求确定更高的安全库存,但其可以靠有效的批量合并取得规模效益,而且控制成本并不等于一味地追求降低订货量和存储量,库存管理的总目标应该是在成本的合理范围内达到满意的顾客服务水平。因此,综合而言,FOI更接近有效的经营管理思想,对医院药品的库存管理具有更高的可操作性,可以用于衡量一定服务水平下的库存上限;而ROP可以作为高变异时的缺货预警,以启动应急措施来确保和提升服务水平。但FOI在实际应用时,须兼顾诸多情况,还不得不允许一定的缺货水平存在,就很难得到简单直观的结果。而要获取一种理想的综合运营状态,无论是其控制目标,还是具体的过程和参数,都较为复杂,因此罕有研究实例。本研究试图在此方向进行探索,并获得有价值的研究结果及可操作性的应用方法。其中,涉及的FOI和ROP模型的基本内容如下。

FOI基本模型为: $Q=M+F-A$,根据实际可变化为: $E=Q+A=M+F=\bar{D}\times\bar{P}+z\times(\bar{P}\times s_D^2+\bar{D}^2\times s_P^2)^{1/2}$ 。其中: E 为期望需求(最大库存); Q 为订货量; A 为现有库存; M 为保护期(提前期与间隔期之和)内平均需求; F 为安全库存(缓冲库存,为应对变异性而增加的额外库存); \bar{D} 、 s_D 分别为日均需求、标准差; \bar{P} 、 s_P 分别为保护期天数、标准差; z 为标准差个数(也称安全系数,可以根据设定的服务水平通过查询“标准正态分布表”求得)。

ROP基本模型为: $R=H+F'=\bar{D}\times\bar{L}+z\times(\bar{L}\times s_D^2+\bar{D}^2\times s_L^2)^{1/2}$ 。其中: R 为再定货点(最小库存); H 为提前期平均需求; F' 为安全库存; \bar{D} 、 s_D 分别为日均需求、标准差; \bar{L} 、 s_L 分别为提前期天数、标准差; z 为标准差个数。

可见,ROP模型与变化后的FOI模型在数学原理和公式上是相同的,区别只在于期望需求所分布的时间段不同,即FOI在一定意义上可以理解为将前置期由提前期扩大为整个保护期的ROP。

2 数据采集

数据来源于某三级甲等医院信息管理系统,提取2014年度门诊某药房每日的药品销售、采购和库存数据,导入Excel 2007软件中进行相应的分析处理,统计软件为SPSS 13.0。

依据ABC分类法^[11]对数据进行分类,以便对不同类别的药品进行不同程度的采购和库存控制,从而在总成本可控的

前提下提高总的服务水平。剔除已淘汰品种(终值为0)、一次性采购和使用品种、政策性储备品种(如抗禽流感药物、抢救药物)等,结果可见80%的金额集中于15%的品种上,而且变异性较低,适用于拉动式的精益管理;对低值、高变异的B、C类药品的管理则可以简单粗放一些,适当提高采购量,既降低了缺货风险,又因减少采购批次而降低订货成本,但持有成本增加有限。具体分类结果见表2(注:表中38.59是以ABC类的品种比例为权重系数计算的加权周变异系数)。

表2 ABC分类法分类结果

Tab 2 Results of ABC classification

类别	品种占比,%	金额占比,%	平均周变异系数,%
A类	15.12	79.84	15.53
B类	20.27	15.15	32.43
C类	64.61	5.01	45.93
合计	100	100	38.59

3 建模

本研究的多品种联合订货模型(Multi-varieties joint order model, MJO)包含3个部分:基于FOI的库存上限预测,作为最高库存;基于ROP的库存下限预测,作为缺货预警;基本订货策略。具体实施分6个阶段:(1)数据预处理:构建时间序列集,并通过一定的处理,使其符合模型要求。(2)参数设定:对模型所涉及的基础参数和理论效果进行估算。(3)模型应用:利用抽样数据,根据FOI和ROP预测药品库存的上、下限。(4)模型检验:按照设定的指标检验模型预测结果的误差和重现性。(5)策略制订:制订基本的采购策略和后续控制策略。(6)效果评价:根据计算机仿真运行结果和实际执行情况就模型对实际工作的改进效果作出评价。

4 实证分析

4.1 数据预处理

构建时间序列(Time series)集: $X=\{x_n\}$, i 为品种序号, $t=1\sim n$, x_n 表示第*i*个品种的第*t*个数据点的观察值。考察散点图,序列呈现一定的趋势性(上升)和明显的周期性(工作日/非工作日),采取如下处理方式:1)按工作日(D)和非工作日(d)分别计算相应统计量,以消除周期性。2)控制样本长度以消除趋势性,即将序列分解成以7为周期的子序列,考察方差、均值和自相关函数(Autocorrelation function, ACF)的变化。结果在周期个数小于9时可近似视为稳定序列,因此可将样本区间和预测区间的宽度都限定在4周左右。

4.2 参数设定

提前期(Lead time, LT):统计出联合采购时1~5 d内到货率(以金额计)分别为6.89%、18.44%、41.26%、23.33%、10.08%,LT均值3.11 d,标准差1.04。紧急补货时,LT均值5.10 h(以工作时间计),标准差1.21。考虑到缺货发生率很低,提前期变化对总库存的实际影响更是微乎其微,因此简化取值为常量1 d(工作日)。

间隔期(Order interval, OI):理论上OI越小,则采购量越小,平均存储成本越低。但OI过小,会导致需求变异过大,增加控制的难度,若OI低于LT则使预测更为复杂;另外门诊药品需求往往以周为周期呈现一定的规律性,因此OI亦以周的倍数为宜。综合考虑,确定为7 d,并且固定每周一为订单发出日(时点)。

服务水平(Service level):库存量满足需求的可能性,与缺货风险互补,即服务水平=100%-缺货风险。设定A、B、C类服务水平分别为95%、97%、99%,则查标准正态分布表得对

应 z 值为1.65、1.88、2.33。

概率性缺货风险的测算:即测算在现有的参数值和设定的服务水平条件下,符合概率分布的缺货风险,以预估模型的理论效果。实际工作中,缺货的原因涉及诸多方面^[12],但本研究仅限于需求和提前期正常变异导致的缺货现象。由于同时受上一订货周期期望需求和本次订货周期到货率2种概率分布的叠加影响,故先计算出 E 值,再反向代入,分别求得上一订货点第6~12天(对应于上周六到本周五)的 z 值和期望服务水平,最终得到每日的缺货风险。结果显示,在现有的参数值和设定的服务水平条件下,概率性缺货风险整体处于较低水平,见表3。

表3 概率性缺货风险测算结果

Tab 3 Measurement results of probabilistic shortage risks

时间	上周期期望值		本周期累积到货率, %	缺货风险, %
	z	服务水平, %		
第6天	3.81	99.99		0.01
第7天	3.54	99.98		0.02
第8天	3.27	99.95	6.89	0.05
第9天	2.54	99.45	25.33	0.41
第10天	1.80	96.41	66.59	1.20
第11天	1.06	85.54	89.92	1.46
第12天	0.33	62.93	100	0

注:缺货风险=(1-期望服务水平)×(1-累积到货率)

Note: shortage-risk = (1 - expected-service-level) × (1 - cumulative-arrival-rate)

4.3 模型应用

随机抽取子序列(组1) $X_0(t=k-28\sim k-1, t=k-1$ 为周日,本次抽得 k 为11月17日),分别按FOI、ROP模型得出各品种最大、最小库存。

4.4 模型检验

4.4.1 FOI模型(库存上限预测)检验 ①误差检验:从前述时点 k 起,取连续4组长度为10的观察值,即子序列 $X_1(t=k\sim k+9)$ 、 $X_2(t=k+7\sim k+16)$ 、 $X_3(t=k+14\sim k+23)$ 、 $X_4(t=k+21\sim k+30)$,与预测结果比较。②重现性检验:重新随机选取样本序列组2(k 为6月23日)、组3(k 为8月4日)按前述步骤预测和比较。③检验指标:缺货率,即合计缺货金额占实际需求的比例。FOI模型检验结果见表4。

表4 FOI模型检验结果

Tab 4 Results of FOI model tests

检验序列	缺货率, %			
	组1	组2	组3	均值
X_1	1.16	2.48	1.47	1.70
X_2	1.28	2.06	1.66	1.67
X_3	1.64	3.28	2.65	2.52
X_4	3.21	3.36	2.45	3.01
均值	1.82	2.80	2.06	2.23

由表4可见,结果缺货率处于1.16%~3.36%之间,即按照模型预测的库存上限仅会出现较低水平的实际缺货,总体良好。另外缺货率随序列有渐增趋势,显示模型预测结果对短期的适用性优于长期。

4.4.2 ROP模型(库存下限预测)检验 ①误差检验:从前述子序列组1的 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 各随机抽取一时点,并筛选出FOI检验的缺货品种,与预测结果比较。②重现性检验:取前述样本序列组2、组3按前述步骤预测和比较。③检验指标:有效预警率,预警后剩余库存(库存下限)能维持至紧急补货送达者为有效预警。有效预警占有所有缺货的比例即为有效预警率,也

即不小于观察值的预测值之和与观察值之和的比值。结果FOI模型检验出的缺货中,71.24%以上的库存下限大于实际的1d需求,能及时完成紧急补货而不致断货。ROP模型检验结果见表5。

表5 ROP模型检验结果

Tab 5 Results of ROP model tests

检验序列	有效预警率, %			
	组1	组2	组3	均值
X_1	87.86	71.70	87.79	82.45
X_2	88.05	81.87	85.65	85.19
X_3	84.64	79.05	71.24	78.31
X_4	84.89	72.37	75.37	77.54
均值	86.36	76.25	80.01	80.87

4.5 采购策略

根据模型预测和检验结果,制订如下的库存采购和控制策略:1)按照FOI和ROP预测结果设定药房信息管理系统库存的上、下限。2)定期(每周一)检查库存,参考上限和现有库存订货,其中仅占总金额20%却占总数量85%的B、C类品种可适当增加订货量,以在成本增加有限的前提下进一步提高服务水平,如B类按2倍订货周期(2OI+LT),C类按4~12倍。3)当触发库存下限报警时,启动紧急补货。4)每4~6周1次或者缺货率明显上升时,重新测算和调整库存上、下限。

4.6 MJO效果评价

4.6.1 计算机仿真运行效果 取前述时间序列 k 点,用计算机设定适当的当前库存,按 $k\sim k+30$ 的观察值作逐日消耗,并根据MJO策略订货和紧急补货(按每日到货概率由RAND函数随机分配),模拟库存运行。结果与实际情况相比,紧急补货率由2.25%降至2.04%,降幅9.33%;断货率由0.54%降至0.48%,降幅11.11%;日均库存周转率(日均消耗/日均库存×100%)由8.61%升至11.21%,增幅30.19%。

4.6.2 实际执行效果 药房按照MJO策略执行采购1个月。与项目实施前1个月对比,紧急补货率由2.38%降至2.07%,降幅13.03%;断货率由0.51%降至0.37%,降幅27.45%;日均库存周转率由8.33%升至9.65%,增幅15.85%。

因为在计算机仿真运行中并未增加B、C类药品的订货量,而在实际采购中订货量通常还因进位取整(整箱、整百、整十等)而增大,导致两者评价结果有一定差异,但与未执行MJO前的经验管理模式相比均效果显著(t 检验, $P < 0.05$)。

5 讨论

可靠的需求预测以及对各类成本的合理估计是有效库存管理的必要条件。本研究的MJO是在FOI和ROP基础上扩展改进而成,并引入了时间序列的理论和方法,旨在利用医疗机构信息管理系统普遍具有的库存上、下限设定功能,通过模型预测和策略控制来获取零库存管理模式下药房药品最优的库存运行状态。经检验和使用,具备良好的精度和可操作性,缺货率(以紧急补货率和断货率表示)和日均库存周转率均显著改善,同时整个预测过程可利用Excel软件通过预设的函数公式简捷迅速地完成,能有效满足工作的实际需要,为零库存管理模式下的药品采购提供科学合理的决策支持。

但限于笔者水平和论文篇幅,加之在解决问题的过程中力求简单实用,致MJO尚有待继续深入和改进之处:首先,缺货成本难以量化,因此服务水平(尤其是A类药品)多靠经验设定。其次,对数据稳定性的处理,可进一步采用自回归整合移动平均(Auto-regressive integrated moving average, ARIMA)模型^[13]、趋势指数平滑(Exponential smoothing with trend, EST)^[14]

我院全自动药品分包机的软件程序改造

邓思韵*,王玉紫,梁嘉俊,吴昭仪(中山大学附属第一医院,广州 510080)

中图分类号 R95 文献标志码 A 文章编号 1001-0408(2016)01-0073-04

DOI 10.6039/j.issn.1001-0408.2016.01.24

摘要 目的:提升全自动药品分包机的工作性能。方法:结合在使用全自动药品分包机中遇到的实际问题,介绍我院在分包机库存管理、药品标识、特定药品分包、不分包药品单据打印这4个软件功能的改造情况,并比较改造前后的相关指标。结果:经改造分包机软件后,与2012年比较,2013年因机内药品滞销而过期的报损事件减少了70%;与分包机相关的药品配发差错减少1/2;药品核对时间缩短了1/5。结论:我院对全自动药品分包机的软件程序改造,有效提高了药房的工作效率与摆药的准确率,进一步确保了药品的质量安全,更切合我院的实际工作要求。

关键词 全自动药品分包机;软件程序;改造

Software Program Reconstructions of Automatic Medicine Packing Machine in Our Hospital

DENG Siyun, WANG Yuzi, LIANG Jiajun, WU Zhaoyi (The First Affiliated Hospital of Sun Yat-sen University, Guangzhou 510080, China)

ABSTRACT OBJECTIVE: To promote the working performance of automatic medicine packing machine in our hospital. METHODS: Combined with the problems we met in the use of the automatic medicine packing machine, the reconstructions of software functions, such as drug inventory management, drug identification, specific drug sub-package and document printing of non-package drug, were introduced. Related indicators were compared before and after reconstruction. RESULTS: After the software reconstruction, compared with 2012, loss events of expire drug due to poor sales fell by 70% in 2013; drug dispensing errors related to medicine packing machine dropped by 1/2; the time of drug checking shortened by 1/5. CONCLUSIONS: The software program reconstruction of automatic medicine packing machine can improve the work efficiency of pharmacy and the accuracy of drug dispensing, further guarantee the quality and safety of drugs, and meet the practical demand of our hospital.

KEYWORDS Automatic medicine packing machine; Software program; Reconstruction

等曲线拟合方法来更好地掌握数列的规律;另外在长期应用本模型时,还应考虑季节性因子影响。第三,ABC分类标准不够明确,大量边缘品种的归类存在一定的随意性,导致结果差异。第四,通常多数品种与供应商之间有相对固定的对应关系,并且不同供应商的配送时间规律也各不相同,可据此对品种及提前期作进一步的细化分类计算,有效的供应商管理也是实现零库存管理模式的重要保障。第五,有条件的医疗机构可以对信息管理系统进行改造,引入第三条维度,即下限触发紧急补货报警,采购点(OI+LT)用于定期衡量现有库存是否需要订货,上限($\alpha \times \text{OI} + \text{LT}$, α 为周期系数,A、B、C类分别为1、2、4~12)为最高库存。以上方面的深入研究,必然使模型趋于复杂,但无疑可以提高其精确性和有效性。

参考文献

- [1] 蓝丽萍,扶玲,薛梅,等.我院药品实施“零库存”管理的体会[J].中国药房,2013,24(29):2729.
- [2] 吴登丰.公立医院药品供应模式研究:以江西省为例[D].武汉:武汉理工大学,2011.
- [3] Stevenson WJ,张群,张杰,等.运营管理[M].11版.北京:机械工业出版社,2012:289-330.
- [4] Enders W.应用计量经济学:时间序列分析[M].杜江,袁景安,译.3版.北京:机械工业出版社,2012:36-90.
- [5] Anderson DR, Sweeney DJ, Williams TA,等.数据、模型

与决策:管理科学篇[M].侯文华,译.13版.北京:机械工业出版社,2012:282-306.

- [6] 舒丽芯,陈盛新,李捷玮,等.基于优化EOQ模型的战备储备药品库存控制策略[J].药学实践杂志,2013,31(3):187.
- [7] 朱珺,顾嘉钦.医院贵重药品采购与供应管理实践[J].中国药师,2011,14(2):294.
- [8] 马佳雯,王斌,李思远,等.肿瘤专科医院危险化学品药品管理模型分析[J].中国肿瘤,2014,23(11):928.
- [9] 盛禧.基于供应链平台上医院医用耗材自动补货算法研究[J].中国医疗器械杂志,2012,36(4):265.
- [10] 王真,李静.EOQ模型在医院药品库存管理中的构建[J].商情,2013(40):197.
- [11] 杨西晓,王晋豫,侯连兵,等.基于需求与供应链管理的医院药品仓储策略研究[J].中国药房,2010,21(29):2744.
- [12] 冯洁.药品供应工作中缺货情况分析及应对措施[J].中国医院药学杂志,2012,32(1):52.
- [13] 韩晋,赵庆国,吴荣荣,等.自回归整合移动平均模型在医院药库采购预测中的应用[J].中国药房,2009,20(31):2432.
- [14] Hillier FS, Hillier MS, Schmiedders K,等.数据、模型与决策:运用电子表格建模与案例研究[M].任建标,译.3版.北京:中国财政经济出版社,2010:570-572.

*药师。研究方向:药房管理。电话:020-87755766-8439。E-mail:dengsiyun@163.com

(收稿日期:2015-05-18 修回日期:2015-09-10)
(编辑:刘萍)