

基于系统动力学的 2 型糖尿病管理模型构建与初步仿真

张成钢, 王现, 朱博城, 王飞, 吴佳倩

上海市徐汇区疾病预防控制中心, 上海 200237

摘要: **目的** 探索系统动力学模型用于评价 2 型糖尿病健康管理的可行性, 构建适用于本地人口的模型。 **方法** 以 2 型糖尿病人口动力为研究对象, 参考美国疾病预防控制中心相似模型, 通过确定边界、绘制流图, 编写方程式, 构建系统动力学模型, 根据徐汇区的情况调整了亚裔人糖尿病的风险比、人口数、患病数、诊断率、管理率等参数后进行模型初始仿真。 **结果** 构建了适用于本地人口的 2 型糖尿病管理系统模型, 初始仿真结果显示, 从 2010–2020 年, 徐汇区 2 型糖尿病患病率将从 6.6% 上升到 11.6%, 上升趋势未放缓, 同期因病死亡率则从 32/10 万上升到 70/10 万, 上升趋势有所放缓。

结论 系统动力学模型能对 2 型糖尿病的患病率和因病死亡率等指标进行有条件预测, 为评价和调整健康管理机制提供了一种新视角、新方法。

关键词: 2 型糖尿病; 系统动力学; 健康管理; 模型; 仿真

中图分类号: R587.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-3110(2019)08-1016-05 **DOI:** 10.3969/j.issn.1006-3110.2019.08.035

Establishment and initial simulation of type 2 diabetes management model based on system dynamics

ZHANG Cheng-gang, WANG Xian, ZHU Bo-cheng, WANG Fei, WU Jia-qian

Xuhui District Center for Disease Control and Prevention, Shanghai 200237, China

Corresponding author: WU Jia-qian, E-mail: alvajeTTY@163.com

Abstract: **Objective** To explore the feasibility of system dynamics model for evaluating the health management of type 2 diabetes, and to build a model suitable for local populations. **Methods** The population dynamics of type 2 diabetes served as the research subject. Based on a systematic review of a similar mathematical model established by the U.S. Centers for Disease Control and Prevention, a system dynamics model was developed by determining the system boundary, constructing the system flow diagram and outlining the system structure. According to the situation of Xuhui District, the risk ratio, number of population, prevalence, diagnosis rate and management rate of Asian diabetes were adjusted, and then the initial simulation was performed. **Results** A system dynamics model suitable for the health management of type 2 diabetes in local population was established. The results of the initial simulation revealed that the prevalence rate of type 2 diabetes in Xuhui District from 2010 to 2020 would increase from 6.6% to 11.6%, and the rising trend would not slow down. The mortality rate in the same period would increase from 32/100,000 to 70/100,000, and the rising trend would slow down. **Conclusions** The system dynamics model can predict the morbidity and mortality of type 2 diabetes, and provide a new perspective and method for the evaluation and adjustment of health management mechanism.

Key words: type 2 diabetes; system dynamics; health management; model; simulation

2 型糖尿病是一种严重危害人群健康的慢性疾病, 其发病原因复杂, 进入临床期后进展不可逆, 同时常伴有严重的并发症, 给患者、家庭及社会带来了沉重的疾病负担^[1-2]。2 型糖尿病的预防、治疗、管理和保健是一个庞大复杂的系统, 若以常规研究方法难以整体把握它的性质和发展规律。作为研究复杂系统的有效理论和方法, 系统动力学(system dynamics, SD)方法

与传统流行病学方法和其它模型方法相比, 适用于处理人的生命周期等长期性和周期性问题, 适用于处理数据不足的问题, 适用于处理精度要求不高的复杂社会问题, 为预测评价糖尿病管理效果提供了一种新的工具。本文以美国疾病预防控制中心(疾病预防控制中心)2004 年开展的“2 型糖尿病系统建模项目”所建立的数学模型为基础^[3], 通过确定系统边界、绘制系统流图、明确方程式来构建适用于本地人口的模型, 并进行了初始仿真, 为进一步开展模型调节预测实验和评价建立了基础。

基金项目: 上海市卫生局青年科研项目(编号: 20134Y056)

作者简介: 张成钢(1981–), 男, 江苏盐城人, 硕士, 副主任医师, 主要从事慢性病预防与控制及健康教育工作。

通信作者: 吴佳倩, E-mail: alvajeTTY@163.com。

1 资料与方法

1.1 研究方法 研究以人口动力为研究对象,利用建模工具建立人口“流”的模型,2 型糖尿病自然进程就是一根时间轴,健康管理为主的因素则影响着人口的流动。其要素包括:因果关系与反馈、系统流图、系统变量与方程式。

1.2 基础模型 美国疾病预防控制中心在《Diabetes System Model Reference Guide》^[4]中,详细列出了糖尿病人口的流动和死亡,糖尿病前期的进展和康复,糖尿病临床期的进展,糖尿病前期、临床期和并发症的诊断,糖尿病高危人群的筛查,肥胖的控制,糖尿病的医疗费用,糖尿病的预防保健费用,糖尿病的疾病负担等十余个子系统模型,详细阐述了模型因果反馈关系,并鼓励其他国家研究者调整并利用该模型。该模型构建于 2004 年,当时美国糖尿病的患病率约为 9% 左右,与我国 2010 年调查患病率 9.6% 接近,同时基于 2 型糖尿病的自然病程和健康管理手段的相似性,此模型可用于徐汇区建模的参考。

1.3 建模和仿真软件 采用 Vensim 5.4a 版作为建模仿真工具,通过各种图形化的箭头连接各式系统变量而建立关系,再以适当的方程进一步写入,从而使得因果关系变得可测量,形成一个完整的模型。其基本步骤为:画流图,写关系式和方程,检查模型语法和单

位错误,同义单位设置。

2 结果

2.1 结构边界的确定 2 型糖尿病健康管理系统是慢性病管理的一个子系统,慢性病管理又是卫生服务的一个子系统,卫生服务又是社会发展的一个子系统。充分考虑 2 型糖尿病健康管理系统的具具体性,确定以下三个系统作为其研究边界。

人口系统:本地人口数量、结构和人群特征是 2 型糖尿病发生、进展的基础,是决定高危人群、前期、临床期和并发症期患者人数的最直接因素。而糖尿病的患病和死亡也影响人口系统^[5-6]。

卫生服务:糖尿病的诊断技术、筛查服务以及糖尿病的一、二、三级预防策略和措施,同样会影响疾病的发生、进展和转归,是非常重要的研究内容^[7-8]。

疾病负担:糖尿病是一种终身性疾病,无论是对患者的身体、心理都会带来较重的负担,同时也会对家庭和国家造成严重的经济负担,因此对因病死亡率为主的疾病负担进行研究,也是建模主要目的之一。

2.2 绘制动力学流图 利用 Vensim 绘制徐汇区 2 型糖尿病健康管理系统动力学流图,见图 1。流图中的流位变量、流率变量、辅助变量设置基本参照美国疾病预防控制中心模型。

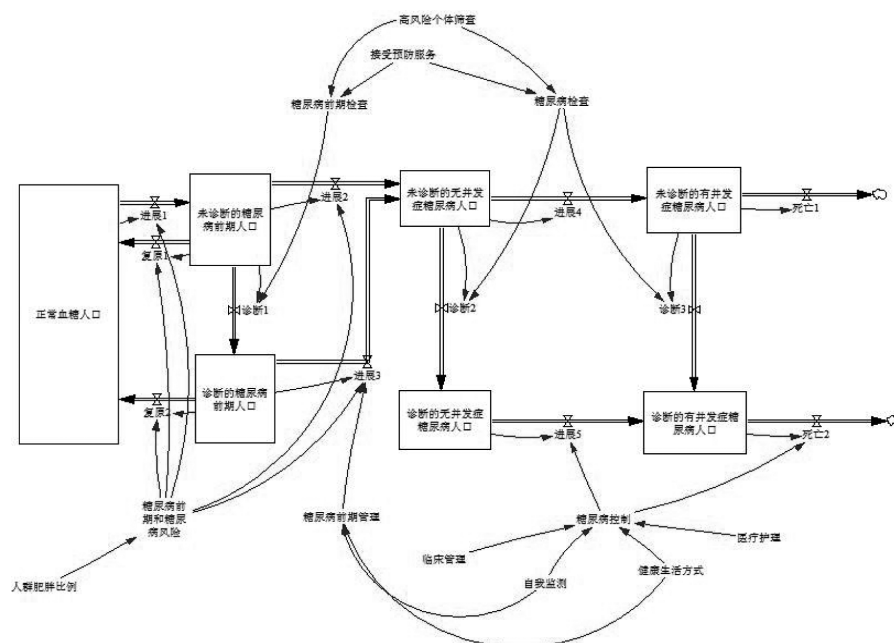


图 1 2 型糖尿病健康管理系统动力学流图

2.3 变量及动力学方程定义 方程和参数的定义以美国疾病预防控制中心模型参数设置(包含 365 个变量和 134 个参数)为参考,结合徐汇区实际,对人口增

长率、2 型糖尿病的患病率、诊断率、管理率进行了调整。此外,有研究显示与白人相比,调整了性别、年龄和 BMI 后,亚裔人糖尿病的风险比为 1.6,在模型中进

行了相应的参数调整,见表 1。

表 1 变量及动力学方程建立的步骤、内容和方法

步骤	内容	方法
指标筛选	诊断的糖尿病患病率、糖尿病前期患病率、肥胖率;	文献归纳、专家咨询、现场调查、监测数据
	未诊断的糖尿病比例;	
	诊断和未诊断的糖尿病并发症比例;	
	人口增长率,糖尿病并发症等病死率;	
	糖尿病控制(血糖、血脂、血压)对糖尿病发病、进展和死亡的影响;	
	热量摄取;	
	平均体重、身高和体重指数;	
	肥胖比例;	
	医疗保险比例;	
	确诊患者每年眼底和足部检查比例;	
变量分类	确诊患者日常血糖自我监测比例;	系统动力学变量分类法
	确诊患者参加自我管理小组比例;	
确定变量	确诊患者药物治疗比例。	专家咨询
确定变量关系	把变量分为:流位变量、流率变量、外生变量、辅助变量四类	关联分析
编写方程	确定建模所需变量	文献归纳、专家咨询
	根据主体关联分析,确定变量关系	
	分别编写两个子系统:自然进程和管理机制所涉及变量方程	

2.3.1 初始值及常数 模型以徐汇区 2010 年的 2 型糖尿病相关数据作为初始值赋值。对于常数的赋值主要根据公开统计数字计算得到,或根据文献资料查阅得到,见表 2。

2.3.2 流位及流率变量 模型中设立的流位变量包括正常血糖人口,未诊断的糖尿病前期人口,诊断的糖尿病前期人口,未诊断的糖尿病临床期人口,诊断的糖

尿病临床期人口,未诊断的糖尿病并发症人口,诊断的糖尿病并发症人口,流位变量方程在系统动力学语言中有固定的格式,包括初始值和流入与流出差值的积分值。流率变量即流位变量在时间上的变化率,包括出生人口,死亡人口,糖尿病前期发生、恢复、诊断和死亡,糖尿病临床期的发生、诊断和死亡,糖尿病并发症的进展、诊断和死亡等,见表 2。

表 2 主要模型变量及动力学方程列表

序号	变量及动力学方程	单位	变量类型
1	INITIAL TIME = 2010	年	初始值
2	FINAL TIME = 2020	年	初始值
3	TIME STEP = 1	年	初始值
4	SAVEPER = TIME STEP	年	初始值
5	初始正常血糖人口 = INITIAL(90.9)	万人	初始值
6	未诊断初始糖尿病前期人口 = INITIAL(8.5)	万人	初始值
7	诊断初始糖尿病前期人口 = INITIAL(5.6)	万人	初始值
8	未诊断初始糖尿病临床期人口 = INITIAL(3.6)	万人	初始值
9	诊断初始糖尿病临床期人口 = INITIAL(2.4)	万人	初始值
10	未诊断初始糖尿病并发症期人口 = INITIAL(1.4)	万人	初始值
11	诊断初始糖尿病并发症期人口 = INITIAL(1.4)	万人	初始值
12	出生率 = 0.00671		常数
13	死亡率 = 0.00735		常数
14	诊断率 = 0.4		常数
15	并发症诊断率 = 0.5		常数
16	正常血糖人口 = INTEG(初始值,出生-死亡-发生前期+前期恢复+未诊断前期恢复)	万人	流位变量
17	未诊断糖尿病前期人口 = INTEG(初始值,发生前期-死亡-未诊断前期恢复-前期诊断-未诊断临床期发生)	万人	流位变量
18	诊断糖尿病前期人口 = INTEG(初始值,前期诊断-死亡-前期恢复-临床期发生)	万人	流位变量
19	未诊断糖尿病临床期人口 = INTEG(初始值,临床期发生+未诊断临床期发生-死亡-临床期诊断-未诊断并发症期进展)	万人	流位变量

续表 2

序号	变量及动力学方程	单位	变量类型
20	诊断糖尿病临床期人口=INTEG(初始值,临床期诊断-死亡-并发症期进展)	万人	流位变量
21	未诊断糖尿病并发症期人口=INTEG(初始值,未诊断并发症期进展-死亡-并发症期诊断)	万人	流位变量
22	诊断糖尿病并发症期人口=INTEG(初始值,并发症期诊断+并发症期进展-死亡)	万人	流位变量
23	出生人口=人口*出生率	万人	流率变量
24	死亡人口=人口*死亡率	万人	流率变量
25	前期发生人口=人口*前期发生率	万人	流率变量
26	前期恢复人口=人口*前期恢复率	万人	流率变量
27	未诊断前期恢复人口=人口*未诊断前期恢复率	万人	流率变量
28	前期诊断人口=未诊断前期人口*诊断率	万人	流率变量
29	临床期发生人口=前期人口*临床期发生率	万人	流率变量
30	未诊断临床期发生人口=未诊断前期人口*未诊断前期发生率	万人	流率变量
31	临床期诊断人口=未诊断临床期人口*诊断率	万人	流率变量
32	并发症期进展人口=临床期人口*并发症期进展率	万人	流率变量
33	未诊断并发症期进展人口=未诊断临床期人口*未诊断并发症期进展率	万人	流率变量
34	并发症期诊断人口=临床期人口*并发症诊断率	万人	流率变量

2.3.3 辅助变量及方程 此外,模型中还应用了大量的辅助变量,主要参照美国疾病预防控制中心模型的设置,采用统计学中曲线拟合和多元回归的方法以及结构方程进行辅助变量方程的构建和参数估计,未在文中详细列出。

2.4 模型初始仿真 以 2010 年为时间起点,2020 年为时间终点,共计 10 年,进行模型初始仿真。以糖尿病临床期患病率和因糖尿病死亡率 2 个主要数据为观测指标,对模型仿真结果进行记录,观测其变化趋势,并对比分析 2010-2015 年仿真数据与实际数据的误差,分析模型有效性。

结果显示,按照目前的 2 型糖尿病基础研究和糖尿病健康管理模式,从 2010-2020 年,徐汇区 2 型糖尿病的患病率将从 6.6% 上升到 11.6% 左右,同时并未有任何下降或变缓的趋势。以 2010-2015 年实际患病率值作趋势线,发现从 2013 年起到 2020 年,仿真患病率始终在趋势线之上。到 2020 年,仿真值约比实际值趋势线值高出 0.5 个百分点,见图 2。

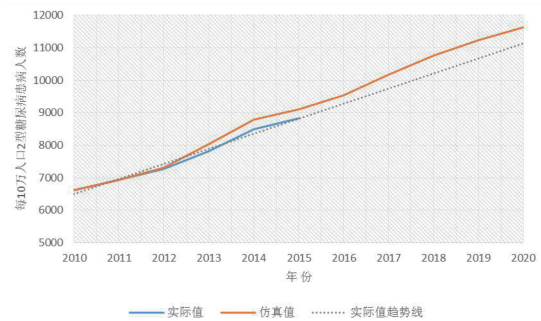


图 2 2 型糖尿病临床期患病率初始仿真
从 2010-2020 年,徐汇区 2 型糖尿病因病死亡率

从 32/10 万上升到 70/10 万。但与患病率的仿真曲线趋势不同,因病死亡率曲线呈明显放缓趋势,以 2010-2015 年实际因病死亡率值作趋势线,发现从 2013 年起到 2020 年,仿真因病死亡率始终在趋势线之下。到 2020 年,仿真值约比实际值趋势线值低了 20/10 万,见图 3。

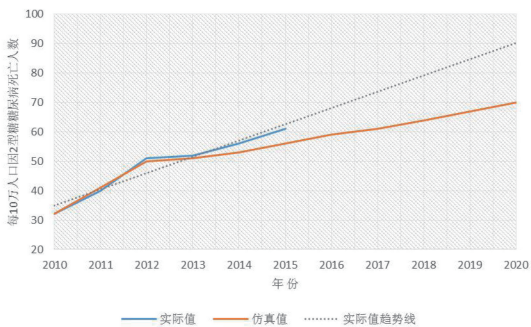


图 3 2 型糖尿病因病死亡率初始仿真

3 讨论

本文以美国疾病预防控制中心糖尿病系统动力学模型为基础,对 2 型糖尿病的自然进程和健康管理机制间的因果反馈关系进行了梳理,结合专家咨询、依据经验,通过绘制流图、确定参数、制定方程建立了数学模型,并进行了初始仿真,初步检验了模型的有效性和灵敏度,能够对本地糖尿病的患病率和因病死亡率进行预测。

模型以 2010 年徐汇区正常血糖人口、2 型糖尿病前期人口、糖尿病临床期人口和糖尿病并发症期人口为初始值进行模型仿真。结果显示如维持在 2010 年的糖尿病健康管理机制下,2010-2020 年,徐汇(下转封三)