

DOI: 10.3969/j.issn.1006-9771.2017.11.022

· 康复工程与辅助技术 ·

基于模糊主成分的老年人语言交流能力综合评估算法

董瑶^{1,2}, 张雪琳^{1,2}, 杨鹏^{1,2}, 赵敏¹

[摘要] **目的** 探讨定量综合评估老年人语言功能的算法, 为养老分级照顾、护理提供基础。**方法** 2016 年 3 月至 2017 年 5 月, 来自养老院及医院志愿者 50 例, 通过语言障碍诊治仪提取相关数据, 建立模糊综合与主成分定量分析模型, 评估老年人语言交流能力等级, 与临床评估进行比较。**结果** 共提取到两个主成分, 方差贡献率分别为 77.53% 和 14.12%, 累计方差贡献率 91.65%。与临床评估结果的符合率 $\geq 80\%$ 。**结论** 模糊主成分评估老年人语言交流能力具有可行性。

[关键词] 老年; 语言交流能力; 主成分分析; 模糊综合评价法

Evaluation of Verbal Communication Ability in Old People: An Algorithm Based on Fuzzy Principal Component Analysis

DONG Yao^{1,2}, ZHANG Xue-lin^{1,2}, YANG Peng^{1,2}, ZHAO Min¹

1. Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China; 2. Engineering Research Center of Rehabilitation Device and Detection Technology, Ministry of Education, Tianjin 300130, China

Correspondence to ZHANG Xue-lin. E-mail: 1196018886@qq.com

Abstract: Objective To quantify the results of the assessment of verbal communication ability in old people, to establish a graded nursing service for the senior. **Methods** From March, 2016 to May, 2017, 50 old volunteers in the nursing home and hospital were assessed the verbal communication ability with language barrier diagnosis and treatment apparatus ZM2.1. The indexes were analyzed with a fuzzy comprehensive and principal component quantitative analysis model, to grade the verbal communicative ability. The results were compared with that of the clinic. **Results** Two principal components were extracted, with the variance contribution rates of 77.53% and 14.12%, and was cumulative to 91.65%. The consistency was not less than 80% from the results of the clinical assessment. **Conclusion** It is feasible to quantify the verbal communication ability in the old people with fuzzy principal component analysis.

Key words: aged; verbal communication ability; principal component analysis; fuzzy comprehensive evaluation

[中图分类号] R496 [文献标识码] A [文章编号] 1006-9771(2017)11-1346-05

[本文著录格式] 董瑶, 张雪琳, 杨鹏, 等. 基于模糊主成分的老年人语言交流能力综合评估算法[J]. 中国康复理论与实践, 2017, 23(11): 1346-1350.

CITED AS: Dong Y, Zhang XL, Yang P, et al. Evaluation of verbal communication ability in old people: an algorithm based on fuzzy principal component analysis [J]. Zhongguo Kangfu Lilun Yu Shijian, 2017, 23(11): 1346-1350.

语言交流是接受信号刺激, 产生一连串反应并正确表达出来的完整过程, 是身体功能与身体结构的共同作用; 身体功能方面主要有意识、定向、注意、记忆、理解、知觉、言语, 感觉中的视、听及发声等功能, 身体结构方面主要有神经、脑、眼、耳、发声及言语等结构^[1-4]。语言交流过程需要通过完整的人体系统机制完成, 关联许多结构和功能, 故而老年人语言交流能力的分级评估, 本质上是一个多指标的综合评

价问题。

至 2013 年, 我国老年人口突破 2 亿, 正式进入老龄化社会。如何实现正确科学养老已成为现阶段亟待解决的问题, 养老服务业也越来越受到社会重视^[5]。十八大以后, 国务院出台了《关于加快发展养老服务业的若干意见》和《关于促进健康服务业发展的若干意见》等政策文件, 明确建立以居家为基础、社区为依托、机构为支撑的社会养老服务体系, 为我国养老

基金项目: 国家科技支撑计划课题(No.2015BAI06B03)。

作者单位: 1. 河北工业大学, 天津市 300130; 2. 智能康复装置与检测技术教育部工程研究中心, 天津市 300130。作者简介: 董瑶(1982-), 女, 汉族, 河北石家庄市人, 博士研究生, 实验师, 主要研究方向: 人工智能、老年人能力评估。通讯作者: 张雪琳。E-mail: 1196018886@qq.com。

服务业发展指明了方向,居家养老的重要作用被以政策性文件的形式指出,体现其在我国社会养老服务体系中的关键作用^[6]。

随着老年人口高龄化,总体健康水平下降,影响老年人日常生活活动、精神状态、感知觉与沟通等方面的能力水平,给社会和家庭带来沉重负担^[7-8];而老年人能否准确表达自身需求,又是为其提供优质养老服务的基础,表达能力的关键是语言交流能力。

由暨南大学开发的基于触摸屏单片机的语言障碍诊治仪,可用于诊断语言障碍^[9]。现阶段,国内外主要采用问卷调查和评估量表评估老年人语言交流能力,主观性强,稳定性差^[10-14]。针对多指标预测分级方法常用的有层次分析法、熵权法、人工神经网络、模糊综合评价法等^[15-17]。老年人语言交流能力评估,评价因素带有模糊性,而模糊综合评估法利用模糊关系合成原理,在模糊数学的基础上,把影响被评价事物无法量化、边界模糊的因素量化,并评估其隶属等级状况,得出分级评估结果。因此,本研究结合老年人语言交流特点,采用主成分分析与模糊综合评价相结合的方法,定量评估老年人语言交流等级,为科学养老提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象

选取天津桃花源养老机构和河北省优抚医院 65~90 岁老年人 50 例,其中男性 27 例,女性 23 例;平均受教育年限(6.2±3.4)年;能力完好 21 例,轻度失能 16 例,中度失能 8 例,重度失能 5 例;所有受试者均为右利手。

应用语言障碍诊治仪检测提取老年人指标数据。由于指标过多,仅选取听觉能力、视觉能力、注意力、记忆力、理解力、判断力、表达力、语音平均能量、平均语速 9 项。

1.2 方法

1.2.1 基于主成分的模糊综合评估模型

针对人体系统的复杂性、影响老年人语言交流因素的多源性,及影响因素的模糊性,本文采用模糊综合评判对老年人多项语言指标进行多元信息融合,定量评估老年人语言交流能力等级。采用主成分分析法确定影响因子的多项指标,并分别计算其权重。以模糊综合评估法处理模糊值及不确定因素^[18-21]。模糊综合评估法要解决的关键技术包括确定指标权重、选取隶属度函数两个方面。评估流程见图 1。

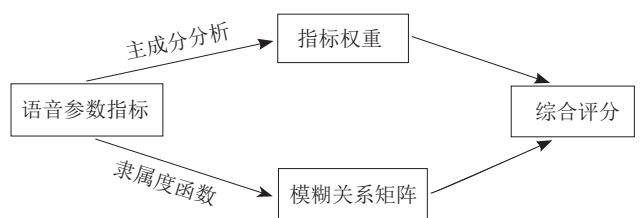


图 1 模糊综合评估框架图

1.2.2 主成分分析法

指标对应的权重表征其重要性,权重表征其对应的参数对最终评估结果的影响程度。最终评估结果的好坏与权重的选取直接相关,如果某项参数的权重被过分强调,那么其他项的重要性必然会被削弱;如果严重偏离权重正常值,则评估模型不可用。确定指标参数权重的方法很多,主成分分析法由客观数据确定指标权重,是一种量化确定指标权重的方法,具备一定的客观性和科学性^[22-25]。因此,本文采用主成分分析法确定指标权重。

主成分分析法重新组合 p 个有一定关系的语言指标,形成相互独立的 m 个参数取代原语音指标。主成分分析法将累积贡献率 85%~95% 之间、特征值 >1 的向量提取出来,作为主成分。其数学模型见式(1)。

$$\begin{cases} F_1 = a_{1,1}x_1 + a_{2,1}x_2 + \dots + a_{p,1}x_p \\ F_2 = a_{1,2}x_1 + a_{2,2}x_2 + \dots + a_{p,2}x_p \\ \dots\dots\dots \\ F_m = a_{1,m}x_1 + a_{2,m}x_2 + \dots + a_{p,m}x_p \end{cases} \quad (1)$$

其中主成分为 F_1, \dots, F_m 共 m 个, $a_{1,1}, \dots, a_{p,m}$ 为原始数据集 $X=(x_1, x_2, \dots, x_p)$ 协方差矩阵 $\text{cov}(X)$ 特征值 $\lambda_1, \dots, \lambda_m$ 对应的特征向量, x_1, x_2, \dots, x_p 为数据集归一化处理之后的向量。

主成分贡献率按式(2)计算。

$$c_i = \frac{\sum_{k=1}^i \lambda_k}{\sum_{k=1}^m \lambda_k} \quad (i = 1, \dots, m) \quad (2)$$

为了叙述方便,设第一、二主成分 F_1, F_2 对应的贡献率为 c_1, c_2 , 其和 $c_1+c_2>85\%$, 则提取前两个主成分描述原有信息。

基于主成分分析法求语言指标权重如式(3)。

$$\begin{aligned} w_1 &= \frac{a_{1,1} \times c_1 + a_{1,2} \times c_2}{c_1 + c_2} \\ \dots\dots\dots \\ w_p &= \frac{a_{p,1} \times c_1 + a_{p,2} \times c_2}{c_1 + c_2} \end{aligned} \quad (3)$$

1.2.3 模糊综合评价法

模糊综合评价法是一种多因素决策方法,对影响事物的多个方面做出有效、全面评价。模糊综合评判以模糊数学为基础,处理不确定性、多因素问题。

1.2.3.1 建立因素集和评语集

影响老年人语言交流的因素包括对看到、听到的事物或指令的简单或复杂的理解、判断、表达、复述、命名、记忆及注意程度,总结归类为九大项变量,即 $U=\{\text{听觉能力,视觉能力,注意力,记忆力,理解力,判断力,表达力,语音平均能量,平均语速}\}$ 。取能力等级评语集 $V=\{\text{能力完好,轻度失能,中度失能,重度失能}\}$,其能力等级模糊值设为 $V=\{0.90, 0.75, 0.55, 0.25\}$ 。

1.2.3.2 确定因素能力度值

影响老年人语言交流等级的因素难以用精确的数学模型描述,因此采用模糊数学的方法估算因素能力度值。估算因素能力度值的方法有多种,为了简化计算的复杂度,本文采用线性函数方法对影响能力等级的因素进行模糊量化,某一影响因素的能力度 r 计算如式(4)。

$$r = \frac{0.5}{H-M} \times (cur_val - M) + 0.5 \quad (4)$$

其中 H 代表该因素的最大值, M 代表该因素的中间值, cur_val 代表该因素的当前测定值。 H 、 M 与模糊能力等级值 1、0.5 对应。

1.2.3.3 确定各影响因素对于模糊评语集的隶属度函数

为了计算方便,采用 k 次方抛物线型函数作为评估评语集的隶属度函数,以能力等级模糊值作为分段函数分界点,并且将 k 设为 1.2。 $v_1 \sim v_4$ 对应的模糊成员函数如式(5)~(8)。

v_1 模糊成员函数

$$F_1(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.75 \\ (\frac{x-0.75}{0.9-0.75})^{1.2}, & 0.75 \leq x \leq 0.9 \\ 1, & x > 0.9 \end{cases} \quad (5)$$

v_2 模糊成员函数

$$F_2(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.55 \\ (\frac{x-0.55}{0.725-0.55})^{1.2}, & 0.55 \leq x \leq 0.725 \\ 1, & 0.725 \leq x \leq 0.775 \end{cases} \quad (6)$$

v_3 模糊成员函数

$$F_3(x) = \begin{cases} 0, & x < 0.25 \\ (\frac{x-0.25}{0.455-0.25})^{1.2}, & 0.25 \leq x \leq 0.455 \\ 1, & 0.455 \leq x \leq 0.545 \\ (\frac{0.75-x}{0.75-0.545})^{1.2}, & 0.545 \leq x \leq 0.75 \\ 0, & x > 0.75 \end{cases} \quad (7)$$

v_4 模糊成员函数

$$F_4(x) = \begin{cases} 1, & x < 0.25 \\ (\frac{0.55-x}{0.55-0.25})^{1.2}, & 0.25 \leq x \leq 0.55 \\ 0, & x > 0.55 \end{cases} \quad (8)$$

1.2.3.4 确定模糊关系矩阵

模糊等级关系确定后,将样本数据的各影响因素值按照式(4)计算,得到因素能力度模糊值,依据模糊隶属度函数,将影响因素 $U_i(i=1,2,\dots,m)$ 量化,进而得到模糊关系矩阵 R 。

$$R = \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix} \quad (9)$$

1.2.3.5 合成模糊综合评估结果

计算过程如式(10)。

$$B = A \circ R = (a_1, a_2, \dots, a_m) \begin{bmatrix} r_{1,1} & r_{1,2} & \cdots & r_{1,n} \\ r_{2,1} & r_{2,2} & \cdots & r_{2,n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m,1} & r_{m,2} & \cdots & r_{m,n} \end{bmatrix} = (b_1, b_2, \dots, b_n) \quad (10)$$

1.2.3.6 评价结果分析

由于最大隶属原则 $M = \max\{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ 方法损失信息过多,过于勉强得出的结果可能是错误的。本文采用加权平均原则求隶属等级,将各个等级求得的隶属度作为权重,对所有的等级值进行规范化的加权求和,最终综合评分 u^* 采取最邻近值原则获得老年人的语言交流等级。

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^n V(v_i) \cdot b_i}{\sum_{i=1}^n b_i} \quad (11)$$

2 结果

由于数据计算所占篇幅较大,本文列出 6 例具体数据,展示应用模型过程,如表 1。其中前 7 项指标均是百分率数据,标签 1、2、3、4 分别表示能力完好、轻度失能、中度失能、重度失能。

表 1 老年人语言交流能力指标数据表(%)

样本序列	听觉能力	视觉能力	记忆力	理解力	判断力	表达力	注意力	语音能量(dB)	语速(/min)	标签
1	61.38	87.64	29.15	77.78	89.98	54.33	63.99	63.80	54.80	3
2	98.78	92.59	64.60	88.89	98.33	86.17	86.22	61.10	38.30	2
3	68.13	75.93	40.03	83.89	88.89	69.00	67.00	56.00	39.50	2
4	96.28	93.67	76.40	98.89	98.58	94.33	91.31	67.20	40.60	1
5	96.88	96.73	64.60	97.56	78.89	74.50	88.94	74.20	55.80	1
6	23.75	66.67	11.50	6.67	36.67	16.50	27.15	65.30	13.40	4

用 SPSS 22.0 软件因子分析法处理,数据采用 Kaiser-Meyer-Olkin (KMO)检验和 Bartlett 球形检验,选取特征值>1 的因子,得到 2 个主成分和因子载荷矩阵。见表 2、表 3。

表 2 分解主成分提取分析表

因子	起始特征值			提取平方和载入		
	总计	变异(%)	累计(%)	总计	变异(%)	累计(%)
1	6.977	77.528	77.528	6.977	77.528	77.528
2	1.271	14.123	91.650	1.271	14.123	91.650
3	0.637	7.079	98.729			
4	0.078	0.872	99.601			
5	0.036	0.399	100.000			
6	5.487×10 ⁻¹⁶	6.096×10 ⁻¹⁵	100.000			
7	1.551×10 ⁻¹⁶	1.724×10 ⁻¹⁵	100.000			
8	-1.617×10 ⁻¹⁶	-1.796×10 ⁻¹⁵	100.000			
9	-2.932×10 ⁻¹⁶	-3.258×10 ⁻¹⁵	100.000			

表 3 因子载荷矩阵

变量	因子 1	因子 2
听觉能力	0.978	0.017
视觉能力	0.937	0.277
记忆力	0.925	0.081
理解力	0.973	-0.131
判断力	0.887	-0.417
表达力	0.958	-0.199
注意力	0.995	0.013
语音平均能量	0.232	0.970
平均语速	0.769	0.129

由于 SPSS 运行因子分析得出的因子评分矩阵系数不能直接用于主成分分析的评分矩阵系数,需要利用主成分评分公式另外求得,但 SPSS 得出的因子载荷矩阵与主成分因子载荷矩阵是相同的,可直接应用^[26]。主成分评分系数矩阵即为主成分模型系数,取累积贡献率大于 85%,且特征值>1 的前两个参数作为主成分,代替原来 9 个具有一定相关性的参数,得主成分模型公式如下:

$$F_1(x)=0.3703x_1+0.3547x_2+0.3502x_3+0.3684x_4+0.3358x_5+0.3627x_6+0.3767x_7+0.0878x_8+0.2911x_9$$

$$F_2(x) =0.0151x_1 + 0.2457x_2 + 0.0718x_3- 0.1162x_4-0.3699x_5- 0.1765x_6+0.0115x_7+0.8604x_8+0.1144x_9$$

其中, x_1, \dots, x_9 为原始指标变量标准化后的指标。

由上述公式并按照主成分分析求权重的方法求每项参数的权重,得权重向量 A 。

$$A=\{0.1237, 0.1324, 0.1204, 0.1151, 0.0890, 0.1096, 0.1255, 0.0810, 0.1034\}$$

样本 1 依照本文提出的模型进行等级评估,由公式(9)得到模糊值,再依据模糊评语集的隶属度函数得样本序号 1 的模糊关系矩阵

$$R_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0.2979 & 0.6122 & 0 \\ 0.8143 & 0.1353 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1471 & 0.8364 \\ 0.1323 & 0.9732 & 0 & 0 \\ 0.9984 & 0.0004 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0.0104 \\ 0 & 0.4496 & 0.4743 & 0 \\ 0 & 0 & 0.6874 & 0 \\ 0 & 0.2012 & 0.7094 & 0 \end{bmatrix}$$

由权重向量和模糊关系矩阵进行模糊综合评估,得模糊评价值

$$B_1= A \circ R =(0.2119, 0.2440, 0.3916, 0.1371)$$

由加权平均原则计算得出隶属等级

$$u^*=(0.2119 \times 0.9+0.2440 \times 0.75+0.3916 \times 0.55+0.1371 \times 0.25)/(0.2119+0.2440+0.3916+0.1371)=0.633$$

依据最邻近值原则,0.6331 在评估评语集中处于中度(0.55)附近,因此该对象语言交流能力为中度失能,这与该病例的实际情况 3(中度)是一致的。

同法,算得样本 2~6 的隶属等级 u^* 分别为 0.747、0.623、0.830、0.816、0.343,在评语集中分别邻近 0.75(轻度)、0.55(中度)、0.9(完好)、0.75(轻度)、0.25(重度),除样本 3 外,其余均与已知结果相符。全部研究对象模型评估与医生评估结果对比见表 4。

表 4 不同能力等级评估结果比较(n=50)

评估方式	能力完好	轻度失能	中度失能	重度失能
临床	21	16	8	5
模型	23	14	9	4

可以看出模型评估的准确度较高,四个分类的准确率都在 80%或以上,基本满足要求。根据本文提出的基于主成分模糊综合评估模型,可用于老年人语言能力定量评估,能够参考等级评估结果给予不同能力的老年人不同的护理。

3 讨论

在世界人口老龄化的大背景下,养老服务业备受社会重视。现阶段我国养老服务标准的分级,除医学给出的一些病态指标外,多以问卷调查形式评估,评估结果易受评估员自身因素的影响,具有主观性,准确性低。本文综合考虑老年人各项生理指标,依据 ICF 和医学指标,提出主成分模糊综合老年人语言交流能力定量评估方法,希望解决测试中因评估员主观因素造成评估结果不同的问题,这一方法准确率可以接受,具有参考价值。

本研究还存在一些不足。由于实验时间短,评估结果与医学检测结果还未达到完全符合,主要指标还需要更科学、合理的选取,有待今后进一步研究。

总之,主成分模糊综合老年人语言能力评估具有良好的实用性,为养老机构等护理服务事业提供客观、量化的评估方法。

[参考文献]

[1] Finger ME, Selb M, De Bie R, et al. Using the International Classification of Functioning, Disability and Health in physiotherapy in multidisciplinary vocational rehabilitation: a case study of low back pain [J]. Physiother Res Int, 2015, 20(4): 231-241.

[2] 李沁臻,邱卓英,董向兵. 基于 ICF 的残疾标准内容分析与比较研究[J]. 中国康复理论与实践, 2013, 19(1): 22-25.

[3] 胡娴亭,黄治物,陈建勇,等. 听力障碍筛查量表用于老年人群听力筛查分析[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2014, 22(3): 230-234.

[4] 孙靖雯,吴皓,黄治物. 噪声下言语测试对老年性聋患者听觉功能评估的作用[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2014, 22(5): 461-464.

[5] 党俊武. 关于我国应对人口老龄化理论基础的探讨[J]. 人口研究, 2012, 36(3): 62-67.

[6] 漆亮亮. 促进机构养老服务业发展的税收政策探析[J]. 中国国情国力, 2015(3): 54-56.

[7] 中华人民共和国民政部. 中华人民共和国民政行业标准: 老年人能力评估[S]. MZ/T 039-2013.

[8] Kokkonen K, Rissanen S, Hujala A. The match between institutional el-

derly care management research and management challenges – a systematic literature review [J]. Health Res Policy Syst, 2012, 10: 35.

[9] 李巧薇,陈卓铭,黄舜韶,等. 应用语言障碍诊治仪 ZM2.1 治疗运动性失语的效果评估[J]. 中国组织工程研究, 2005, 9(25): 14-16.

[10] 孙靖雯,黄治物,陈建勇,等. 老年性聋患者噪声下言语识别能力的评估[J]. 听力学及言语疾病杂志, 2015, 23(1): 16-20.

[11] 胡秀英,龙纳,吴琳娜,等. 中国老年人健康综合功能评价量表的研制[J]. 四川大学学报(医学版), 2013, 44(4): 610-613.

[12] 杨琛,王秀华,谷灿,等. 老年人健康综合评估量表研究现状及进展[J]. 中国全科医学, 2016, 19(9): 991-996.

[13] Ciesielska N, Sokołowski R, Mazur E, et al. Is the Montreal Cognitive Assessment (MoCA) test better suited than the Mini-Mental State Examination (MMSE) in mild cognitive impairment (MCI) detection among people aged over 60? Meta-analysis [J]. Psychiatr Pol, 2016, 50 (5): 1039-1052.

[14] Greene BR, Kenny RA. Assessment of cognitive decline through quantitative analysis of the timed up and go test [J]. IEEE Trans Biomed Eng, 2012, 59(4): 988-995.

[15] 李春生,王耀南,陈光辉,等. 基于层次分析法的模糊分类优选模型[J]. 控制与决策, 2009, 24(12): 1881-1884.

[16] Shahamiri SR, Salim SS. A multi-views multi-learners approach towards dysarthric speech recognition using multi-nets artificial neural networks [J]. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2014, 22(5): 1053-1063.

[17] Li M, Du Y, Wang Q, et al. Risk assessment of supply chain for pharmaceutical excipients with AHP-fuzzy comprehensive evaluation [J]. Drug Dev Ind Pharm, 2016, 42(4): 676-684.

[18] Gallo A, Moschini M, Cerioli C, et al. Use of principal component analysis to classify forages and predict their calculated energy content [J]. Animal, 2013, 7(6): 930-939.

[19] Yang L, Zhang P, Wang D. [Fuzzy comprehensive evaluation method of metabolic syndrome based on PCA] [J]. [in Chinese]. Shengwu Yixue Gongchengxue Zazhi, 2013, 30(1): 67-70.

[20] 林和平,杨晨. 模糊主成分分析的研究与分析[J]. 航空计算技术, 2006, 36(6): 16-20.

[21] 杜军凯,傅尧,李晓星. 模糊-主成分分析综合评价法在地下水水质评价中的应用[J]. 中国环境监测, 2015, 31(4): 75-81.

[22] 林海明,杜子芳. 主成分分析综合评价应该注意的问题[J]. 统计研究, 2013, 30(8): 25-31.

[23] Gloi AM, Buchanan R. Dosimetric assessment of prostate cancer patients through principal component analysis (PCA) [J]. J Appl Clin Med Phys, 2013, 14(1): 3882.

[24] Jao PK, Lin YP, Yang YH, et al. Using robust principal component analysis to alleviate day-to-day variability in EEG based emotion classification [C]// Engineering in Medicine and Biology Society, IEEE, 2015: 570-573.

[25] 商立群,王守鹏. 改进主成分分析法在火电机组综合评价中的应用[J]. 电网技术, 2014, 38(7): 1928-1933.

[26] 林海明,张文霖. 主成分分析与因子分析的异同和 SPSS 软件——兼与刘玉玫、卢纹岱等同志商榷[J]. 统计研究, 2005, 22(3): 65-69.

(收稿日期:2017-06-06 修回日期:2017-08-14)