

主成分分析法在学生体质综合评价中的应用

李大永,梁月红,温彦

(河北工程大学 公体部,河北 邯郸 056038)

[摘要]目的采用主成分分析法对反映学生耐力素质和心肺功能的指标进行综合评价,用实验室方法验证主成分分析法的有效性。方法:测试河北工程大学普通大学生23名10项体质指标,采用主成分分析法提取主成分,对每位受试者的体质综合评价排序,分组。对部分受试者进行递增负荷跑台实验(GXT)采集心肺功能的相关指标,验证主成分分析法在体质综合评价中的合理性和可操作性。结果(1)根据主成分综合表达式,计算主成分值、综合主成分值及排序。按排序分成三个组。(2)递增负荷跑台实验显示,最大摄氧量、氧脉搏、通气量等指标,强势组与弱势组相比出现显著差异,强势组好于一般组,一般组好于弱势组。结论:主成分分析法适用于学生的综合体质评价,具有合理性、可操作性的特点。

[关键词]主成分分析法;综合评价;心肺功能;应用

[中图分类号]G642.41 **[文献标识码]**A **[文章编号]**1673-9477(2010)02-0076-03

目前对体质综合评价的方法研究较多,采用的方法有逐步回归、判别分析、主成分分析法等数理统计方法,1982年《中国学生体质综合评价方法研究》课题组采用主成分分析法对指标进行分类,制定了能客观反映我国学生体质现状的综合评价标准。主成分分析在社会经济统计综合评价中是常被使用的统计分析方法,是设法将原来众多具有一定相关性的指标(比如P个指标),重新组合成一组新的互相无关的综合指标来代替原来的指标。通常数学上的处理就是将原来P个指标作线性组合,作为新的综合指标^[2]。

在评价体质发展的水平时,仅对其中某一方面的发展水平进行评价是不够的,而应进行全面的综合评价。而主成分分析法提供了对数据的全面考虑,及信息贡献影响力综合评价的方法。本论文是将受试者测量的身体形态、生理及运动素质共10项体现耐力素质和心肺功能的体质指标采用主成分分析法提取主成分,计算特征向量,最终得到主成分表达式,对每位受试者的体质综合评价排序,按排序划分组别,并对部分受试者进行递增负荷跑台实验(GXT)用心肺功能的相关指标验证此方法的合理性和可操作性。意义在于为针对学生不同体质状况综合考虑、因材施教提供科学的分组方法,或为学生实验分组提供参考。

一、研究对象及方法

(一)研究对象

抽取河北工程大学篮球专项班19-24岁男性普通大学生23人,采用主成分分析法对受试者各测试指标计算,按结果分成强势组、一般组和弱势组3组。随后,从每组中随机抽取4名共12名学生进行递增负荷跑台运动测试,验证主成分分析法的应用效果。受试者被告知在测试的前一天和当天不参与剧烈的运动;在测试前3小时吃饭;测试当天不能饮用茶、咖啡和饮料。所有的受试者都健康无病痛。

(二)静息时指标的测量

在实验室受试者坐位,静息10分钟后测试受试者的心率(HR),连续测试5分钟,静息时HR选用每分钟平均值中的最低值^[3]。安静HR按压脉搏计数获得。

(三)运动中指标的测量

体育课上测试受试者的1000m跑成绩,3分钟40cm高上下台阶实验的每分钟后30秒及恢复期3分钟每分钟后30秒平均心率,共6个心率值。台阶实验全程心率采用POLAR表监控获得数据。

采用主成分分析法对1000m跑成绩、6个心率值等共10个数据综合评定,分得强势组、中势组和弱势组3组,从3组中抽取的12位受试者进行递增负荷跑台运动测试,并用德国Cortex MetaMax 3B心肺功能遥测仪采集相关心肺指标。在进行递增负荷跑台运动测试之前,简单告知受试者所有的运动测试程序。(1)熟悉在跑台上走和跑的适应训练。(2)从小强度递增负荷到最大跑速的适应性训练,记录最大跑速。(3)按照受试者的

最大跑速制定运动方案,起始速度为5km/h,每级递增1km/h,每级负荷持续1min,在12-16min内达到为竭,直到经过反复鼓励仍不能坚持为止。主要检测指标包括通气阈及最大摄氧量心率(HR)、摄氧量绝对值($\dot{V}O_2max$)和相对值($\dot{V}O_2max/kg$)、氧脉搏(O_2P)、每分通气量(VE)。受试者达到最大摄氧量的判断标准:①继续运动后,两次吸氧量的差别在5%以下或每分150ml以下或200ml/(kg·min)以下。②呼吸商 >1.10 (成人),心率 >180 次/分。③受试者已精疲力竭,不能继续保持原先的速度^[1]。判定通气阈(VT)的标准为:①运动负荷中达到一定功率后,VE、 VCO_2 出现非线性增加的拐点。②运动负荷中达到一定功率后,VE/ $\dot{V}O_2$ 出现陡峭升高点,同时VE/ VCO_2 未见降低^[1]。及Schneider DA等的“V-slope”方法^[9]判断通气阈。

(四)身体形态指标的测量

早晨空腹测量受试者基本身体形态指标,包括体重、身高、脂肪百分比采用皮褶厚度测量法^[4]。受试者的体重为 63.94 ± 8.92 kg,身高为 172.17 ± 5.41 cm。脂肪百分比为 14.92 ± 4.97 。

(五)统计学分析运用SPSS统计分析软件Factor过程^[5],对受试者1000米跑、臂三角肌皮褶厚度、肩胛下角皮褶厚度、安静心率、及台阶实验中及恢复期的6个心率值共10个体质综合指标进行主成分分析。

主成分分析数学模型^[6],即主成分表达式:

$$\begin{cases} F_2 = a_{12}Z_{X1} + a_{22}Z_{X2} + \dots + a_{p2}Z_{Xp} \\ \dots \\ F_p = a_{1p}Z_{X1} + a_{2p}Z_{X2} + \dots + a_{mp}Z_{Xp} \end{cases}$$

其中 $a_{1i}, a_{2i}, \dots, a_{pi}(i=1, \dots, m)$ 为X的协方差阵 Σ 的特征值多对应的特征向量, $Z_{X1}, Z_{X2}, \dots, Z_{Xp}$ 是原始变量经过标准化处理的值,因为在实际应用中,往往存在指标的量纲不同,所以在计算之前须先消除量纲的影响,而将原始数据标准化,本文所采用的数据就存在量纲影响[注:本文指的数据标准化是指Z标准化]。

$A = (a_{ij})_{p \times m} = (a_1, a_2, \dots, a_m)$, $R_{ai} = \lambda_i a_i$, R为相关系数矩阵, λ_i, a_i 是相应的特征值和单位特征向量, $\lambda_1 \geq \lambda_2 \geq \dots \geq \lambda_p \geq 0$ 。

以每个主成分所对应的特征值占所提取主成分总的特征值之和的比例作为权重计算得主成分综合模型:

$$F = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \lambda_2} F_1 + \frac{\lambda_2}{\lambda_1 + \lambda_2} F_2$$

根据主成分综合模型即可计算综合主成分值,并对其按综合主成分值进行排序,即可对每位受试者进行综合评价比较。

二、结果

(一)受试者的身体特征和生理测量结果

受试者的身体特征和生理测量结果见表1。

表1 33名受试者的身体特征、生理及运动指标测量结果

Table with 10 columns: 姓名, 脉搏, 皮褶厚, 长跑, 台阶1, 台阶2, 台阶3, 台阶4, 台阶5, 台阶6. Rows list 33 individuals with their respective measurements.

注:台阶1~3指台阶实验第1、2、3分钟的后30秒的平均心率;台阶4~6指恢复期第1、2、3分钟后30秒平均心率。

(二) 受试者各指标综合评价比较

由表1数据经SPSS主成分分析法得主成分表达式:

由篮球原始数据经SPSS主成分分析法得3个主成分,贡献率为77.256。主成分表达式:

F1 = -0.113ZX1 - 0.091ZX2 + 0.026ZX3 + 0.048ZX4 + 0.333ZX5 + 0.425ZX6 + 0.408ZX7 + 0.404ZX8 + 0.417ZX9 + 0.426ZX10

F2 = 0.251ZX1 - 0.056ZX2 - 0.087ZX3 + 0.791ZX4 - 0.434ZX5 - 0.162ZX6 + 0.168ZX7 + 0.294ZX8 + 0.095ZX9 - 0.102ZX10

F3 = 0.129ZX1 - 0.056ZX2 - 0.087ZX3 + 0.791ZX4 - 0.434ZX5 - 0.162ZX6 + 0.168ZX7 + 0.294ZX8 + 0.096ZX9 - 0.102ZX10

即可得主成分综合表达式:

F = 0.016ZX1 + 0.095ZX2 + 0.135ZX3 + 0.271ZX4 + 0.116ZX5 + 0.215ZX6 + 0.298ZX7 + 0.29ZX8 + 0.282ZX9 + 0.254ZX10

其中,X1指安静脉搏、X2指肱三头肌皮褶厚度、X3指肩胛下角皮褶厚度、X4~X6指台阶实验1~3分钟每分钟后30秒平均心率、X7~X9指台阶实验恢复期第1~3分钟每分钟后30秒平均心率。根据主成分综合表达式即可计算主成分值、综合成分值及排序见表2。

表2 综合主成分值及排序

Table with 7 columns: 姓名, 主成分F1, 排名, 主成分F2, 排名, 主成分F3, 排名, 综合主成分F, 排名. Rows list 33 individuals with their component scores and ranks.

由表2示,所有受试者综合评定后,前7名受试者分为优势组,8~15名为中势组,16~23名为劣势组。

(三)对所有受试者进行递增负荷跑台运动测试,按受试者的相对最大摄氧量排序,和综合主成分排序比较(见表3)。

表3 受试者综合主成分排序(1)与最大摄氧量排序(2)比较

Table with 2 columns: 姓名, 主成分排序, 最大摄氧量排序. Rows list 33 individuals with their respective rankings.

经SPSS两配对样本非参数检验中的Wilcoxon符号秩检验p=0.757,可见p>0.05,故两种方法排序无显著差异。优势组两种方法排序较一致,而用主成分法排序的中势组与弱势组出现不一致的情况,有4名弱势组成员进入了中势组的行列。但是最后3名的受试者两种方法的排序几乎一样。

(四)递增负荷跑台试验各心肺功能指标比较

受试者最大摄氧量时各项心肺功能指标比较

表4 受试者最大摄氧量各项心肺功能指标比较

Table with 5 columns: 组别, HR, VO2, VO2/kg, O2P, VE. Rows list 强势组, 一般组, 弱势组 with their respective values.

注: * 为 P < 0.05, 强势组与弱势组比较差异显著, 以下各表同此。

表3显示,最大摄氧量时强势组的最大摄氧量与弱势组相比有显著差异,氧脉搏也出现同样的现象,虽然强势组与一般组相比未出现显著差异,但最大摄氧量和氧脉搏的平均值大于一组。其它指标未出现显著差异。

表5 受试者通气阈各项心肺功能指标比较

Table with 5 columns: 组别, HR, VO2, VO2/kg, O2P, VE. Rows list 强势组, 一般组, 弱势组 with their respective values.

表4示,通气阈绝对摄氧量,相对摄氧量,氧脉搏,通气量强势组与弱势组相比出现显著差异,只有心率未出现显著差异。运动时,氧脉搏指标高说明强势组受试者对负荷的适应能力好。所有指标的平均值强势组均大于一组,而一般组也大于弱势组,说明强势组心肺功能好于一组和弱势组,一般组好于弱势组。

表6 受试者通气阈占最大摄氧量百分比

Table with 5 columns: 组别, HR, VO2, VO2/kg, O2P, VE. Rows list 强势组, 一般组, 弱势组 with their respective values.

表5示,通气阈占最大摄氧量百分比的通气量,强势组与一般组和弱势组分别有显著差异。强势组的摄氧量与弱势组比差异显著。其它指标平均值强势组好于一组,一般组好于弱势组。

三、讨论

(一)有氧耐力指标的选取

全国学生体质监测数据整理表明,学生的耐力素质及心肺功能持续下降,其中有很多资料表明影响耐力素质的主要因素之一是肥胖。在众多文献中,一般用体重指数(Body Mass Index, BMI)做为筛查超重和肥胖的标准,选用肱三头肌及肩胛下角皮褶做为身体形态指标,是因为,这两个指标较身高、体重稳定,短期内不会有太大变化。因此采用臂三头肌及肩胛下角皮褶厚度不仅可以反映一个人的肥胖程度,也做为影响耐力素质和心肺功能的指标。安静心率代表了维持身体所需要的最低心跳数,直接反映了机体的良好适应能力,长期的耐力运动可使安静心率降低。长跑用于测定循环系统的最大功能和耐力,通常以男子1000m跑和女子800m跑项目代表机体的有氧能力。台阶实验中的心率与恢复期的心率反映了运动中心肺对运动负荷

的适应能力。和长跑相比,它是在固定负荷强度下个体机能随运动时间的不同反映,故通过此指标做为比较和评定同一负荷强度下的不同受试者心肺耐力的强弱。笔者经过访谈选用以上10个主要指标,用来做为综合评定心肺耐力和运动训练前后对比具有一定意义。由表1、表2显示,经主成分分析法得出所有受试者综合指标即体质的排序,将前11名定为优势组,后11名定为弱势组,中间11名定为一般组。

(二)心肺功能指标变化的综合评定

气体代谢各项指标发生变化的主要原因与心肺功能水平的提高或下降以及全身适应能力的变化有关。心肺功能运动试验是在特定负荷下对受试者的呼出气体和心脏功能做出整体分析,从而能够有效评价心肺整体储备能力和有氧运动能力,是一种综合反映人体动态心肺机能变化的试验方法。其相关指标的评定可以验证主成分分析法的可行性和可操作性。表3显示,最大摄氧量时强势组的最大摄氧量和氧脉搏与弱势组相比有显著差异,两指标的平均值大于一般组。一般组好于弱势组。

表4显示通气阈绝对摄氧量,相对摄氧量,氧脉搏,通气量强势组与弱势组相比出现显著差异,表明体质好通气阈指标也相应提高,以增加机体氧摄取的需要及心力贮备。能在长时间高强度运动中保持了较高的运动能力。

最大通气量与胸廓运动时呼吸肌的力量和效率有关,表3、表4显示,最大摄氧量通气量无显著变化,但是通气阈通气量强势组与弱势组有显著差异,一般组平均值也比强势组小12ml/min。表5显示,通气阈占最大摄氧百分比的通气量强势组与一般组和弱势组分别有显著差异。说明强势组呼吸肌力量好于一般组和弱势组,与耐力素质及心肺功能好是分不开的。说明强势组通气阈各指标最大摄氧量的利用率高。

摄氧量是较敏感的指标,在表中可看出,不论是最大摄氧量时还是通气阈时,摄氧量强势组与弱势组相比有显著差异,两强度之间的比值也显著。最大摄氧量时的结果说明运动等级越高的学生做的功越多,所以在完成等量的运动负荷时耗氧量相对更低,有更高的负荷经济性。由上可看出,递增负荷跑台运动实验结果强势组好于一般组,一般组好于弱势组。以上结果说明主成分分析法使用的合理性,主成分分析法在学生体质分组上具有简便、可行的特点。

(三)主成分分析法具有可行性和可操作性

本论文应用主成分分析法着重于主成分值与综合主成分值的排序来综合判断每位受试者所处在总体中的位置,为分组提供参考。通常指标的评价标准有离差法、百分位数法、相关法及指数法。筛选评价指标的方法有专家调查法、因子分析和聚类分析法^[1]。《中国学生体质综合评价方法研究》采用主成分分析法对评价指标和权重确定后,用百分位数制定五个等级的

体质综合评价标准^[7]。适用于多年龄、多组别、大范围人群的综合总体评价。本论文不考虑数据分布的特点,及对指标进行筛选,在于对所有指标得到主成分综合模型后,对数据进行标准化处理,根据主成分综合模型中每个指标所对应的系数计算综合主成分值,并对其按综合主成分值进行排序,从而可对每位受试者进行综合评价和比较。用实验室测试结果作为检验有效性的效标,对所选的体现耐力素质和心肺功能的指标进行有效性检验结果表明,主成分分析法能做出较准确的体质评价。

四、结论

由主成分分析法对学生耐力素质和心肺功能综合评价排序的结果与实验室递增跑台运动试验获得心肺功能相关指标的结果,可得出,主成分分析法具有可行性和可操作性。结果表明主成分分析法是一种合理、积极的评价观念,可用于不同学生体质分组中,或现状及动态评价,为教学或实验提供新的分组方法。关于综合运动素质的评定此类方法研究在国内鲜有报道。

【参考文献】

- [1] 田野. 运动生理学高级教程[M]. 北京:高等教育出版社, 2003.
- [2] 王芳. 主成分分析与因子分析的异同比较及应用[J]. 统计教育, 2003, (5): 14.
- [3] Stanley Sai - chuen Hui, Janus Wan - sza Chan (2006). The Relationship Between Heart Rate Reserve and Oxygen Uptake Reserve in Children and Adolescents. American for Health, Physical Education, Recreation and Dance, 2006, 77(1): 41 - 49.
- [4] 赵秋蓉, 黄海, 胡健. 体育测量评价[M]. 陕西人民教育出版社, 1992.
- [5] 林海明, 张文霖. 主成分分析与因子分析详细的异同和SPSS软件[J]. 统计研究 2005(3): 55.
- [6] 于秀林, 任雪松. 多元统计分析[M]. 北京:中国统计出版社, 1999.
- [7] 中国学生体质综合评价研究协作组. 中国学生体质综合评价方法及标准[M]. 北京:人民体育出版社, 1989.
- [8] 傅浩坚, 杨锡让. 运动生理学进展——质疑与思考[M]. 北京:北京体育大学出版社, 2000: 379
- [9] Schneider DA, Phillips SE, Stoffolano S. The simplified V - slope method of detecting the gas exchange threshold. Med Sci Sports Exerc. 1993, 25(10): 1180 - 4

【责任编辑:陶爱新】

Principal components analytic method is application in the synthesis appraisal of student body constitution

LI Da - Yong, LIANG Yue - Hong, WEN Yan

(Sports Department Hebei University of Engineering, Handan 056038, China)

Abstract: Objectives Uses the principal components analytic method to reflect the student endurance quality and the cardiopulmonary function indexes carries on the synthesis appraisal, and to confirms the principal components analytic method with the laboratory method the validity. Methods Hebei university of technology 33 ordinary university students have 10 indexes was used the principal components analytic method extraction principal components, to sort each student physique quality synthetic evaluation, to delimit the grouping to leave. The part of students take treadmill—Graded Exercise Testing (GXT) to gather cardiopulmonary function the correlation index, and using single factor variance analysis method confirmate rationality and feasibility of principal components analytic method in quality synthetic evaluation aspect. Results (1) According to the principal components synthesis expression, calculates the principal components value, the synthesis principal components value and sorting. Divides into three groups according to sorting. (2) The treadmill—GXT demonstrate that the maximal oxygen uptake, the oxygen pulse, ventilatory volume and so on, the strong trend group and the weak trend group compares has the remarkable difference ($P < 0.05$), strong trend group good in common group, common group good in weak trend group. Conclusion The principal components analytic method is suitable in the student physique quality synthetic evaluation, has the rationality, feasibility characteristic.

Key words: The principal components analytic method; synthesis appraisal; cardiopulmonary function; application