

· 科研方法专题 ·

合理进行多重 Logistic 回归分析 ——结合 ROC 曲线分析

胡纯严¹, 胡良平^{1,2*}

(1. 军事科学院研究生院, 北京 100850;

2. 世界中医药学会联合会临床科研统计学专业委员会, 北京 100029

*通信作者: 胡良平, E-mail: lphu927@163.com)

【摘要】 本文目的是介绍如何结合 ROC 曲线分析, 合理地进行多重 Logistic 回归分析的方法。第一, 介绍了与 ROC 曲线分析有关的两组基本概念, 即常用诊断指标的统计描述和诊断资料的 ROC 曲线分析方法。第二, 介绍了 ROC 曲线分析中的核心内容, 即 ROC 曲线下面积的计算和多条 ROC 曲线下面积的比较。第三, 通过一个诊断试验的实例, 介绍了如何用 SAS 软件进行分析的全过程, 内容如下: ①仅采用多重 Logistic 回归分析; ②基于多重 Logistic 回归分析, 再结合 ROC 曲线分析。得到的结论是, 对于诊断试验资料, 将多重 Logistic 回归分析与 ROC 曲线分析结合起来, 可以获得更丰富、更合理的统计分析结果。

【关键词】 诊断试验; 诊断指标; 灵敏度; 特异度; ROC 曲线分析; Logistic 回归分析

中图分类号: R195.1

文献标识码: A

doi: 10.11886/scjsws20221113002

Reasonably conduct the multiple Logistic regression analysis combined with the ROC curve analysis

Hu Chunyan¹, Hu Liangping^{1,2*}

(1. Graduate School, Academy of Military Sciences PLA China, Beijing 100850, China;

2. Specialty Committee of Clinical Scientific Research Statistics of World Federation of Chinese Medicine Societies, Beijing 100029, China

*Corresponding author: Hu Liangping, E-mail: lphu927@163.com)

【Abstract】 The purpose of this paper was to introduce how to reasonably carry out the method of the multiple Logistic regression analysis by combining the ROC curve analysis. Firstly, it introduced two groups of the basic concepts related to the ROC curve analysis, that was, the statistical description of common diagnostic indicators and the ROC curve analysis method of the diagnostic data. Secondly, it introduced the core contents of the ROC curve analysis, that was, the calculation of the area under the ROC curve and the comparison of the area under multiple ROC curves. Thirdly, through an example of a diagnostic test, the whole process of how to use SAS software for the analysis was introduced, the contents were as follows: ① the analysis using only multiple Logistic regression analysis; ② the multiple Logistic regression analysis combined with the ROC curve analysis. The conclusion was that, for the diagnostic test data, combining the multiple Logistic regression analysis with the ROC curve analysis could obtain richer and more reasonable statistical analysis results.

【Keywords】 Diagnostic test; Diagnostic index; Sensitivity; Specificity; ROC curve analysis; Logistic regression analysis

在医学上, 若某种定量观测指标的取值大小与受试者是否患某种疾病之间存在一定的关联性, 研究者希望用某种定量指标的取值去预测或判断受试者患该疾病的概率。这样的定量指标被称为诊断指标。而评价这种诊断指标诊断性能高低的有效方法为 ROC 曲线分析。本文将基于多重 Logistic 回归分析, 并结合 ROC 曲线分析处理诊断试验资料, 以展示将这两种方法结合使用相较于仅用多重 Logistic 回归分析, 可以获得更丰富、更合理的统计分析结果。

1 基本概念

1.1 常用诊断指标的统计描述

1.1.1 诊断试验结果的表达形式

诊断试验结果可整理成表 1 所示的形式^[1]。

1.1.2 评价诊断试验真实性的指标

1.1.2.1 金标准或标准诊断

评价任何一种诊断试验在临床上的价值, 都是与金标准或标准诊断相比较而言的。所谓金标准,

是医学界公认的、具有诊断某一疾病价值的最佳方法,如国际、国内公认的诊断标准、方法、病理学检查、手术所见及特殊检查所获得的结论等。

表 1 诊断试验结果的表达形式

诊断试验结果	人 数			合计
	金标准 诊断结果:	阳性 (患者)	阴性 (非患者)	
阳性(患者)		a(真阳性)	b(假阳性)	a+b
阴性(非患者)		c(假阴性)	d(真阴性)	c+d
合计		a+c	b+d	a+b+c+d

1.1.2.2 灵敏度

灵敏度(Sensitivity, Se)即真阳性率,指在标准诊断确诊阳性组中,诊断试验阳性结果人数与患者组总人数的比值,其计算公式见式(1)。

$$Se = \frac{\text{真阳性人数}}{\text{患者组总人数}} = \frac{a}{a+c} \times 100\% \quad (1)$$

灵敏度反映了诊断试验将实际已患所研究疾病的受试者正确判断为该病患者的能力。

1.1.2.3 假阴性率

假阴性率(False negative rate, FNR)即漏诊率,指在标准诊断确诊阳性组中,诊断试验阴性结果人数与患者组总人数的比值,其计算公式见式(2)。

$$\begin{aligned} FNR &= \frac{\text{假阴性人数}}{\text{患者组总人数}} = \frac{c}{a+c} \times 100\% \\ &= 1 - Se \end{aligned} \quad (2)$$

假阴性率反映了诊断试验将实际已患所研究疾病的受试者错误判断为非该病患者的比例。

1.1.2.4 特异度

特异度(Specificity, Sp)即真阴性率,指在标准诊断确诊阴性组中,诊断试验阴性结果人数与非患者组总人数的比值,其计算公式见式(3)。

$$Sp = \frac{\text{真阴性人数}}{\text{非患者组总人数}} = \frac{d}{b+d} \times 100\% \quad (3)$$

特异度反映了诊断试验将实际未患所研究疾病的受试者正确判断为非该病患者的能力。

1.1.2.5 假阳性率

假阳性率(False positive rate, FPR)即误诊率,指在标准诊断确诊阴性组中,诊断试验阳性结果人数与非患者组总人数的比值,其计算公式见式(4)。

$$\begin{aligned} FPR &= \frac{\text{假阳性人数}}{\text{非患者组总人数}} = \frac{b}{b+d} \times 100\% \\ &= 1 - Sp \end{aligned} \quad (4)$$

假阳性率反映了诊断试验将实际未患所研究疾病的受试者错误判断为该病患者的比例。

1.1.2.6 约登指数

约登指数(Yonden's index)又称正确指数,是评价诊断试验结果真实性的综合指标,其计算公式见式(5)。

$$\text{约登指数} = \text{灵敏度} + \text{特异度} - 1 \quad (5)$$

1.2 诊断资料的 ROC 曲线分析方法

1.2.1 ROC 曲线分析

ROC 是受试者工作特征(Receiver Operating Characteristic, ROC)或相对工作特征(Relative Operating Characteristic)的缩写^[2-3]。ROC 曲线分析于 20 世纪 50 年代起源于统计决策理论,后来应用于雷达信号观察能力的评价,20 世纪 60 年代中期,该方法大量成功地用于实验心理学和心理物理学研究。1971 年, Lusted 描述了如何将心理物理学上常用的 ROC 曲线方法用于医学决策,该方法克服了诊断试验中仅孤立地使用灵敏度与特异度以及相关指标的缺陷。自此以后,ROC 曲线分析成为非常有价值的描述与比较诊断试验的工具。

1.2.2 ROC 曲线的构建

ROC 曲线的横轴(x 轴)表示诊断试验的假阳性率,常表示为 1-Sp,纵轴(y 轴)表示诊断试验的灵敏度,由不同决策界值点(1-Sp, Se)产生二维直角坐标系(简称图)中的不同点。采用线段连接图中所有可能的界值点,即形成经验 ROC 曲线。随着灵敏度的增加,假阳性率也增加,ROC 曲线下面积反映了这种增加的数量大小。

2 计算方法

2.1 ROC 曲线下面积的计算

2.1.1 计算方法概述

一般采用“ROC 曲线下面积”反映诊断试验的准确性。理论上,这一指标取值范围为 0.5~1.0,完全无价值的诊断试验的 ROC 曲线下面积为 0.5,完善的诊断试验的 ROC 曲线下面积为 1.0。ROC 曲线下面积及其标准误的计算目前有非参数、半参数和参数方法,应用较广泛的包括 Wilcoxon 非参数法和最大似然估计“双正态”参数法。参数法与非参数法估计 ROC 曲线下面积均适用于诊断结果为连续

性定量资料或等级资料的诊断试验的评价。

2.1.2 非参数法

非参数法是根据诊断试验结果直接计算绘制 ROC 曲线所需的工作点,由此绘制的 ROC 曲线为经验 ROC 曲线,曲线下面积与患者和非患者试验结果秩和检验的 Mann-Whitney 统计量相等,但其结果常小于真实的面积值。

2.1.3 参数法

参数法是根据试验结果拟合双正态模型,利用最大似然法估计模型的 2 个参数 a 和 b ,由 2 个参数可得到光滑的 ROC 曲线及曲线下面积的估计值。参数法的应用条件为:患者与非患者的诊断试验结果服从双正态分布。当不满足这一应用条件时,需要采用变量变换,将诊断试验结果转换为正态分布;在样本量较大、相同值较少时,参数法与非参数法估计的 ROC 曲线下面积常常近似相等。双正态模型参数法估计 ROC 曲线下面积的公式见式(6)。

$$A = \Phi\left(\frac{a}{\sqrt{1+b^2}}\right) \quad (6)$$

式(6)中的 a 和 b 分别见式(7)和式(8)。

$$a = \frac{\bar{x} - \bar{y}}{s_x} \quad (7)$$

$$b = \frac{s_y}{s_x} \quad (8)$$

式(6)、式(7)和式(8)中, A 为 ROC 曲线下面积, a 和 b 分别为双正态模型的 2 个参数, Φ 表示标准正态分布函数, \bar{x} 和 \bar{y} 分别为患者组和非患者组诊断试验结果的均数(假定患者组高于非患者组, $\mu_x > \mu_y$), s_x 和 s_y 分别为患者组和非患者组诊断试验结果的标准差。

2.2 多条 ROC 曲线下面积的比较

在成组设计下,两独立样本所算得的 ROC 曲线下面积的比较,可令两面积之间的协方差为 0;在自身配对设计下,两种诊断方法测定同一组样本,此时,两面积之间的协方差不为 0,有较复杂的计算公式。当两条 ROC 曲线无交叉时,它们 ROC 曲线下面积的比较可由式(9)计算。

$$Z = \frac{A_1 - A_2}{\sqrt{\text{Var}(A_1) + \text{Var}(A_2) - 2\text{Cov}(A_1, A_2)}} \quad (9)$$

式(9)中的 Z 值服从或近似服从标准正态分布,查正态分布表可得相应的 P 值, A_1 和 A_2 分别为两诊断试验 ROC 曲线下面积, $\text{Var}(A_1)$ 和 $\text{Var}(A_2)$ 分别为

两曲线下面积的方差, $\text{Cov}(A_1, A_2)$ 为两曲线下面积的协方差,当两诊断试验独立时,此协方差项为 0。当两条 ROC 曲线交叉时,两诊断试验的比较应比较部分 ROC 曲线下的面积或固定假阳性率时的灵敏度。当需要同时比较多条 ROC 曲线下面积时,一般需要选定其中之一作为对照,生成比较矩阵,构建复杂且服从 χ^2 分布的检验统计量,见文献[2,4]。

3 实例与 SAS 实现

3.1 问题与数据结构

3.1.1 问题与数据

【例 1】研究者采用某种金标准,将 45 例受试者中的 21 例诊断为落基山斑点热(RMSF)(病例组),其余 24 例为非 RMSF(对照组),分别用两种方法测得受试者血钠水平,因篇幅所限,具体数据见文献[5]。问这两种方法诊断性能之间的差异有无统计学意义?

3.1.2 对数据结构的分析

例 1 的资料涉及 3 个变量,一是金标准诊断结果(包括患 RMSF、非 RMSF),二是检测方法(包括方法 1、方法 2),三是血钠水平。

3.1.3 统计分析方法的选择

如何选择统计分析方法对例 1 中的资料进行分析,取决于研究目的。第一个目的:分析检测方法和血钠水平对诊断结果的影响是否有统计学意义。此时,适合选用二值结果变量的多重 Logistic 回归分析^[6-7]。第二个目的:基于哪种检测方法得到的血钠水平,对诊断受试者是否患 RMSF 的诊断性能更好。此时,适合选用基于多重 Logistic 回归分析的 ROC 曲线分析。

3.2 仅采用多重 Logistic 回归分析

3.2.1 将检验方法和血钠水平值分别视为定性和计量原因变量

分别采用 method 和 bs 表示“检测方法”和“血钠水平值”。设所需要的 SAS 程序如下:

```
data b1;
input disease method n;
do i=1 to n;
input bs @@;
output;
```

```
end;
cards;
1 1 21
124 125 126 126 127 128 ..... (该组共 21 个数据)
0 1 24
129 131 131 134 134 135 ..... (该组共 24 个数据)
1 0 21
122 124 125 125 126 126 ..... (该组共 21 个数据)
0 0 24
124 128 130 133 133 133 ..... (该组共 24 个数据)
;
run;
proc glm data=b1;
class disease method;
model bs=disease|method;
means disease*method;
run;
proc logistic data=b1;
class method;
model disease(event="1")=method bs;
run;
```

【SAS 主要输出结果及解释】由 glm 过程输出的主要结果见表 2。

表 2 两因素各水平组合下的血钠水平($\bar{x}\pm s$)
Table 2 Blood sodium value under the combination of two factors and different levels

“disease”的水平	“method”的水平	数 目	血钠水平 (mmol/L)
0	0	24	136.500±5.022
0	1	24	137.417±3.729
1	0	21	130.238±4.918
1	1	21	130.714±4.406

由以上输出结果可知,RMSF 患者的平均血钠水平(disease=1)低于非 RMSF 者的平均血钠水平(disease=0);方法 1 测定的平均血钠水平(method=1)高于方法 2 测定的平均血钠水平(method=0)。

由 Logistic 过程输出的主要结果见表 3。

表 3 Logistic 回归模型中参数的估计和假设检验结果
Table 3 Estimation and hypothesis test results of the parameters in the Logistic regression model

参 数	自由度	估 计	标准误差	Wald χ^2	Pr> χ^2
Intercept	1	39.131	8.293	22.263	<0.010
method=0	1	-0.120	0.264	0.207	0.649
bs	1	-0.293	0.062	22.453	<0.010

由以上输出结果可知,两种检测方法之间差异无统计学意义($\chi^2=0.207, P=0.649$),说明两种检测方法在诊断 RMSF 方面的性能接近;血钠水平对结果的影响有统计学意义($\chi^2=22.453, P<0.01$),因血钠水平的回归系数为负值且建模的概率为 disease=1(即患 RMSF),说明 RMSF 患者较非 RMSF 者的血钠水平低。

3.2.2 将两次检测的血钠水平作为自变量

分别采用 m1 和 m2 表示第 1 次与第 2 次血钠水平检测结果。设所需要的 SAS 程序如下:

```
data a1;
input m1 m2 disease @@;
cards;
124 122 1 125 124 1 126 125 1
126 125 1 127 126 1 128 126 1
.....
140 141 0 141 142 0 142 142 0
142 142 0 142 142 0 143 144 0
;
run;
proc logistic data=a1;
model disease(event="1")=m1 m2;
run;
```

【SAS 主要输出结果及解释】由 Logistic 过程输出的主要结果见表 4。

表 4 Logistic 回归模型中参数的估计和假设检验结果
Table 4 Estimation and hypothesis test results of the parameters in the Logistic regression model

参 数	自由度	估 计	标准误差	Wald χ^2	Pr> χ^2
Intercept	1	93.585	30.514	9.406	0.002
m1	1	-2.303	0.806	8.159	0.004
m2	1	1.616	0.623	6.723	0.009

由以上输出结果可知,两种检测方法检测的血钠水平对预测患 RMSF 有统计学意义(P 均<0.01)。由于对 disease=1(患 RMSF)建模,又由于 m1 与 m2 的回归系数分别为负值与正值,表明方法 1 检测的血钠水平一般低于方法 2。

3.3 基于多重 Logistic 回归分析并结合 ROC 曲线分析

3.3.1 以空模型为对照进行 ROC 曲线下面积比较

设所需要的 SAS 程序如下:SAS 数据步程序与“第 3.2.2 节”中的数据步相同,下面仅给出 SAS 过程步程序。

```
proc logistic data=a1;
```



```
model disease(event="1")=m1 m2;
roc m1; roc m2; roc;
roccompare reference('roc3') / estimate e;
run;
```

【SAS 主要输出结果及解释】与 ROC 曲线分析有关的计算结果见表 5。

表 5 ROC 曲线下面积及其关联统计量的计算结果

Table 5 Calculation results of area under ROC curve and its association statistics

ROC 模型	面积	Mann-Whitney			Somers D	Gamma	Tau-a
		标准误差	95% Wald 置信限				
模型	0.945	0.029	0.888-1.000	0.891	0.896	0.454	
ROC1	0.875	0.051	0.776-0.974	0.750	0.775	0.382	
ROC2	0.808	0.064	0.682-0.934	0.615	0.660	0.313	
ROC3	0.500	0	0.500-0.500	0	-	0	

在以上的输出结果中，“模型”代表包含方法 1 和方法 2 检测结果的总模型；ROC1 代表仅有方法 1 检测结果的模型；ROC2 代表仅有方法 2 检测结果的模型；ROC3 代表空模型。从表格的前 3 行结果中的 95% 置信区间不包含 0.5 可以间接判断出，前 3 个模型对应的 ROC 曲线下面积与 0.5 之间的差异有统计学意义。不同模型对应的 ROC 曲线下面积的比较结果见表 6。

表 6 ROC 对比估计和逐行检验结果

Table 6 Results of ROC comparative estimation and the row by row test

对比	估计	标准误差	95% Wald 置信限	χ^2	Pr> χ^2
模型-ROC3	0.445	0.029	0.388-0.503	230.952	<0.010
ROC1-ROC3	0.375	0.051	0.276-0.474	55.093	<0.010
ROC2-ROC3	0.308	0.064	0.182-0.434	22.871	<0.010

由以上输出结果可知，3 个模型（总模型、ROC1、ROC2）与空模型（ROC3）ROC 曲线下面积相比较，P 值均 <0.01。说明这 3 个模型对 RMSF 都具有一定的诊断价值。

3.3.2 以方法 2 的模型为对照进行 ROC 曲线下面积比较

设所需要的 SAS 程序如下：

```
proc logistic data=a1 plots=roc(id=sensit);
model disease(event="1")=m1 m2;
roc 'method1' m1; roc 'method2' m2; roc;
roccompare reference('method2') / estimate e;
run;
```

【SAS 主要输出结果及解释】以方法 2 的模型为

对照，与其他模型 ROC 曲线下面积进行比较，结果见表 7。

表 7 ROC 对比估计和逐行检验结果

Table 7 Results of ROC comparative estimation and the row by row test

对比	估计	标准误差	95% Wald 置信限	χ^2	Pr> χ^2
模型-method2	0.138	0.057	0.025-0.250	5.768	0.016
method1-method2	0.068	0.021	0.026-0.109	10.031	0.002
ROC3-method2	-0.308	0.064	-0.434~-0.182	22.871	<0.010

由以上输出结果可知，3 个其他模型与方法 2 的模型比较，ROC 曲线下面积之间的差异均有统计学意义（ $P < 0.05$ 或 0.01 ）。说明在诊断 RMSF 方面，方法 1 比方法 2 好。

3.3.3 采用 score 语句输出各诊断评价指标的估计值

设所需要的 SAS 程序如下：

```
proc logistic data=a1 plots=roc(id=sensit);
model disease(event="1")=m1;
roc 'method1' m1; roc;
roccompare reference('roc2') / estimate e;
score outroc=aaa;
run;
data abc;
set aaa;
y_index=_sensit_-_1mspec_;
run;
proc sort data=abc;
by y_index;
run;
proc print data=abc;
run;
```

【SAS 主要输出结果及解释】各种诊断试验评价指标^[8]的估计值见表 8。

“19 个观测”代表用方法 1 检测 45 例受试者，得到了 19 个不同的血钠水平（m1）。将这 19 个 m1 从小到大排序（实现的 SAS 程序为：proc freq data=a1; tables m1; run;），到第 9 个 m1（m1=133）时的累计频率为 0.400，到第 10 个 m1（m1=134）时的累计频率为 0.444。由输出结果的最后一行可知，Yonden 指数=0.607 为最大值，此时对应的概率（近似等于累计频率）为 0.402。提示：基于方法 1 检测结果诊断受试者是否患 RMSF，对应的血钠水平的最佳诊断点介于 133~134 mmol/L，可近似将血钠水平 133 mmol/L 作为 RMSF 的最佳诊断点。

3.4 结论

由“第3.2节”的分析结果可知,采用两种多重 Logistic 回归模型分析,得到如下两个结论:其一,两种检测血钠水平的方法在诊断 RMSF 方面的性能基本相同;其二,检测方法1比检测方法2得到的平均血钠水平低。

由“第3.3节”的分析结果可知,采用基于多重 Logistic 回归分析,并结合 ROC 曲线分析,得到如下两个结论:其一,两种检测血钠水平的方法在诊断 RMSF 方面的准确度不同,方法1优于方法2;其二,基于 ROC 曲线分析,可以获得血钠水平的诊断点的估计值。

表8 各观测点上各种诊断试验评价指标的估计值

Table 8 Estimated values of various diagnostic test evaluation indicators at each observation point

观测编号	概率	阳性数	阴性数	假阳性数	假阴性数	灵敏度	1-特异度	Yonden 指数
1	0.036	21	0	24	0	1.000	1.000	0.000
2	0.050	21	1	23	0	1.000	0.958	0.042
3	0.973	1	24	0	20	0.048	0.000	0.048
...
17	0.319	19	15	9	2	0.905	0.375	0.530
18	0.581	15	21	3	6	0.714	0.125	0.589
19	0.402	18	18	6	3	0.857	0.250	0.607

4 讨论与小结

4.1 讨论

在“第3.2节”的分析中,显示的“观测数(即样本含量)”为90例,这是因为对每位受试者进行了两次重复观测,故得 $45 \times 2 = 90$ 。严格地说,该资料所对应的设计类型为具有1个重复测量因素的两因素设计(试验分组因素为“是否患 RMSF”,重复测量因素为“两种检测方法”)。由于两次检测的指标都是血钠水平,故对每位受试者测得的两个血钠水平数据可以相减(属于自身配对),得到差量(md)。这样,就消除了一个自变量(即两种检测方法)。此时,就可用差量 md 作为唯一的自变量,以 disease 作为二值结果变量,构建一重 Logistic 回归模型,分析的结果表明:md 对结果的影响无统计学意义,也就意味着两种检测方法的诊断性能基本相同。但这个结论与“第3.3节”所得的结论(方法1的诊断性能好于方法2)不一致。值得一提的是:“第3.2.1节”的分析法相当于两血钠水平均值之间的比较,而“第3.3.2节”的分析法相当于两条 ROC 曲线下面积之间的比较。结果表明,“第3.3.2节”的分析法对资料的利用率高于前者,故所得结论更可信。

4.2 小结

本文介绍了常用诊断指标的统计描述和诊断资料的 ROC 曲线分析方法;扼要介绍了 ROC 曲线下面积的计算和多条 ROC 曲线下面积的比较;针对一个诊断试验资料,采取了两种分析策略。第一种,

仅采用多重 Logistic 回归分析;第二种,基于多重 Logistic 回归分析,再使用 ROC 曲线分析。从两种分析策略得到的结果和结论来看,第二种分析策略比第一种分析策略好,获得了更丰富的结果和更合理的结论。

参考文献

- [1] 胡良平. 检验医学科研设计与统计分析[M]. 北京:人民军医出版社, 2004: 168-184.
Hu LP. Research design and statistical analysis of laboratory medicine [M]. Beijing: People's Military Medical Press, 2006: 168-184.
- [2] SAS Institute Inc. SAS/STAT®15.1 user's guide[M]. Cary, NC: SAS Institute Inc, 2018: 5749-6006.
- [3] Zhou XH, Obuchowski NA, McClish DK. 诊断医学统计学[M]. 宇传华,译. 北京:人民卫生出版社, 2005: 13-108.
Zhou XH, Obuchowski NA, McClish DK. Statistical methods in diagnostic medicine [M]. Yu CH, translated. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005: 13-108.
- [4] DeLong ER, DeLong DM, Clarke-Pearson DL. Comparing the areas under two or more correlated receiver operating characteristic curves: a nonparametric approach[J]. Biometrics, 1988, 44(3): 837-845.
- [5] 胡良平. SAS 统计分析教程[M]. 北京:电子工业出版社, 2010: 175-182.
Hu LP. SAS statistical analysis course [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2010: 175-182.
- [6] 李长平, 胡良平. 非配对设计二值资料—水平多重 Logistic 回归分析[J]. 四川精神卫生, 2019, 32(4): 297-303.
Li CP, Hu LP. One-level multiple Logistic regression analysis with the dichotomous choice data collected from the unpaired design[J]. Sichuan Mental Health, 2019, 32(4): 297-303.

- [7] 朱光, 秉岩, 刘丽娟. 上海市某区老年高血压患者焦虑状况及其影响因素[J]. 四川精神卫生, 2022, 35(1): 26-30.
Zhu G, Bing Y, Liu LJ. Prevalence and influencing factors of anxiety status among elderly hypertensive patients in a district of Shanghai[J]. Sichuan Mental Health, 2022, 35(1): 26-30.
- [8] 胡良平, 陶丽新. 临床科研设计与统计分析[M]. 北京: 中国

中医药出版社, 2012: 111-124.
Hu LP, Tao LX. Clinical research design and statistical analysis [M]. Beijing: China Press of Traditional Chinese Medicine, 2012: 111-124.

(收稿日期: 2022-11-13)

(本文编辑: 戴浩然)



科研方法专题策划人——胡良平教授简介

胡良平, 男, 1955 年 8 月出生, 教授, 博士生导师, 曾任军事医学科学院研究生部医学统计学教研室主任和生物医学统计学咨询中心主任、国际一般系统论研究会中国分会概率统计系统专业理事会常务理事、中国生物医学统计学学会副会长、北京大学口腔医学院客座教授和《中华医学杂志》等 10 余种杂志编委; 现任世界中医药学会联合会临床科研统计学专业委员会会长、国家食品药品监督管理局评审专家和 3 种医学杂志编委; 主编统计学专著 48 部、参编统计学专著 10 部; 发表第一作者和通信作者学术论文 300 余篇、发表合作论文 130 余篇; 获军

队科技成果和省部级科技成果多项; 参加并完成三项国家标准的撰写工作、参加三项国家科技重大专项课题研究工作。在从事统计学工作的 30 年中, 为几千名研究生、医学科研人员、临床医生和杂志编辑讲授生物医学统计学, 在全国各地作统计学学术报告 100 余场, 举办数十期全国统计学培训班, 培养 20 多名统计学专业硕士和博士研究生。近几年来, 参加国家级新药和医疗器械项目评审数十项、参加 100 多项全军重大重点课题的统计学检查工作。归纳并提炼出有利于透过现象看本质的“八性”和“八思维”的统计学思想, 独创了逆向统计学教学法和三型理论。擅长于科研课题的研究设计、复杂科研资料的统计分析和 SAS 与 R 软件实现、各种层次的统计学教学培训和咨询工作。