

计算机模拟统计效率

目录

模拟方法的介绍

病例对照研究中统计效率模拟分析方法的运用

- 病例对照研究的定义
- 回归模型
- 有交互作用的回归模型
- 模拟过程需要的参数

队列研究中统计效率模拟方法的运用（暴露组与非暴露组的随访）

- 队列研究的定义
- 回归模型
- 有交互作用的回归模型
- 模拟过程需要的参数

横断面研究或队列研究（随访一个人群）中统计效率模拟分析的运用

- 横断面研究的定义
- 回归模型
- 有交互作用的回归模型
- 模拟过程需要的参数

易侖统计软件中统计效率模拟分析包的使用

- 输入截图举例
- 输出截图举例
- 其他输入选项

模拟方法：

1. 用相应模型按以下参数
 - （1）指定的样本量；
 - （2）要检测的效应大小；
 - （3）变量相关基本参数（如：均数，方差，发病率）产生随机数据。
2. 在随机生成的数据上运行回归模型，保存参数估计值及 P 值。
3. 重复上述步骤 N 次，P 值小于显著性检验水准的次数占总重复次数（N）的比例，即为检验效率估计值。

病例对照研究中统计效率模拟分析的运用

病例对照研究定义：

以确诊的患有某特定疾病的病人作为病例，以不患有该病但具有可比性的个体作为对照，通过回顾性地搜集研究对象既往可能的危险因素暴露史，比较病例组与对照组各因素的暴露比例（如果暴露是分类变量，如吸烟），或暴露水平（如果暴露是连续性变量，如体质指数 BMI），以探索和检验病因假说。

回归模型

Y 为是否患病的二分类变量，因此适用 logistic 回归模型

$$\log(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X$$

$p/(1-p)$ 是发病的比值，X 为暴露，如果 X 是二分类变量（0 或 1）， e^{β_1} 是暴露组比非暴露组患病的比值比，指暴露者患病危险性为非暴露者的多少倍。如果 X 是连续性变量， e^{β_1} 是暴露每改变一个单位患病风险的 OR 值。

两种暴露交互作用的回归模型

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2$$

e^{β_1} 是在 $X_2=0$ 时， X_1 的效应（OR），称 X_1 的主效应

e^{β_2} 是在 $X_1=0$ 时， X_2 的效应（OR），称 X_2 的主效应

e^{β_3} 反映在 X_1 、 X_2 都存在时的附加效应， X_1 和 X_2 的交互作用

拟合过程需要的参数

模型中只包含一个二分类暴露变量 X

- X 在总人群中的暴露的率
- X 的 OR 值
- 样本量（包括病例数、对照数）

模型中包含一个连续性变量 X

- X 在研究人群中的均数、标准差
- X 每改变一个单位，发病风险的 OR 值
- 样本量（包括病例数、对照数）

模型包含一个二分类变量 X_1 和 一个二分类变量 X_2

- X_1 在目标人群中的暴露率
- X_2 在目标人群的暴露率
- $X_1=1$ 时出现 X_2 的比值与 $=0$ 时出现 X_2 的比值比，如果 X_1 和 X_2 相互独立，则为 1。
- 样本量（包括病例数、对照数）

模型包含一个二分类变量 X_1 和 一个连续性变量 X_2

- X_1 在总人群的暴露率
- X 在总人群中的均数、标准差
- X_1 对 X_2 的作用，即 $X_1=1$ 和 $=0$ 时 X_2 的均值的差值，如果 X_2 和 X_1 相互独立则为 0。
- 交互作用项的 OR 值
- 样本量（病例数、对照数）

队列研究中的检验效能拟合

队列研究定义：

在一个特定人群中选择所需的研究对象，根据目前或过去某个时期是否暴露于某个待研究的危险因素，或其不同的暴露水平而将研究对象分成不同的组，如暴露组和非暴露组等，随访观察一段时间，检查并登记各组人群某结局的发生情况，比较各组结局的发生率，从而评价和检验危险因素与结局的关系。队列研究分为前瞻性队列研究、历史性队列研究和双向性队列研究。

回归模型：

如果结果变量为二分类变量（0=是，1=否），适用 logistic 回归模型：

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X$$

$p/(1-p)$ 为是否患病的比值， X 为暴露变量， X 对 Y 的效应：比值比（OR）= e^{β_1}

如果结局变量为连续性变量，适用线性回归：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X$$

X 对 Y 的效应为回归系数，即 β_1

含两个暴露变量且有交互作用的回归模型

如果结局变量为二分类变量（0=否，1=是），适用于 logistic 回归模型

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2$$

e^{β_1} 是当 $X_2=0$ 时 X_1 的效应（OR），即 X_1 的主效应

e^{β_2} 是当 $X_1=0$ 时 X_2 的效应（OR），即 X_2 的主效应

e^{β_3} 反映 X_1 和 X_2 均存在时附加的效应（OR），即 X_1 和 X_2 的交互作用

如果结局变量为连续性变量，适用于线性回归

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2,$$

以回归系数来表示 X 对 Y 的效应

回归系数 β_1 是当 $X_2=0$ 时 X_1 的效应，即 X_1 的主效应

回归系数 β_2 是当 $X_1=0$ 时 X_2 的效应，即 X_2 的主效应

回归系数 β_3 反映 X_1 和 X_2 均存在时附加的效应，即 X_1 和 X_2 的交互作用

模拟过程需要的参数

模型中包含二分类结局变量 Y

- Y 在非暴露人群中的患病率
- 暴露变量 X 引起发病风险的 OR 值
- 样本量，包括非暴露人数，暴露人数

模型中包含连续性结局变量 Y

- Y 在非暴露人群中的均数和标准差
- X 对 Y 回归系数
- 样本量，包括非暴露人数，暴露人数

二分类结局变量，探索暴露变量 X_1 （二分类）和 X_2 （二分类）的交互作用的模型

- Y 在非暴露人群中的患病率

- X2 在研究人群中的分布情况
- X2 与 X1 的联系， 即有 X1 时出现 X2 的比值， 与无 X1 时出现 X2 的比值比， 若两者相互独立， 则为 1
- X1 的主效应 (OR)
- X2 的主效应 (OR)
- 交互作用效应 (OR)
- 样本量， 包括非暴露组人数， 暴露组人数

连续性结局变量， 探索暴露变量 X1 (二 分类) 和 X2 (二 分类) 的交互作用的模型

- Y 在非暴露人群中的均数和标准差
- X2 在研究人群中的分布情况
- X2 与 X1 的联系， 即有 X1 时出现 X2 的比值， 与无 X1 时出现 X2 的比值比， 若两者相互独立， 则为 1
- X1 的主效应 (回归系数)
- X2 的主效应 (回归系数)
- 交互作用项 的回归系数
- 样本量， 包括非暴露组人数， 暴露组人数

二分类结局变量， 探索暴露变量 X1 (二 分类) 和 X2 (连 续性) 的交互作用的模型

- Y 在非暴露人群中的患病率
- X2 在研究人群中的均数和标准差
- X1 对 X2 的作用， 即 X1=1 和 X1=0 时的 X2 的均值的差值， 如果 X2 和 X1 相互独立， 设为 0
- X1 的主效应 (OR)
- X2 的主效应 (OR)
- 交互作用效应 (OR)
- 样本量， 包括非暴露组人数， 暴露组人数

连续性结局变量， 探索暴露变量 X1 (二 分类) 和 X2 (连 续性) 的交互作用的模型

- Y 在非暴露人群中的均数和标准差
- X2 在研究人群中的均数和标准差
- X1 对 X2 的作用， 即 X1=1 和 X1=0 时的 X2 的均值的差值， 如果 X2 和 X1 相互独立， 设为 0
- X1 的主效应 (回归系数)
- X2 的主效应 (回归系数)
- 交互作用项 的回归系数
- 样本量， 包括非暴露组人数， 暴露组人数

横断面研究或者随访队列研究的统计效率模拟分析

定义:

旨在观察一组人群，收集所有暴露和结局的数据，进行关联性分析，探索暴露与结局间的关系，有别于一般的在两组人群中的研究（如病例对照研究，包括暴露组与非暴露组的队列研究）

回归模型：

如果结局变量为二分类（0=否，1=是），适用于 logistic 回归模型

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X$$

$p/(1-p)$ 是结局变量 Y 的比值，X 是暴露变量

X 对 Y 的效应为 OR（比值比），即 e^{β_1}

如果结局变量为连续性变量，适用于线性回归：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X$$

X 对 Y 的效应为回归系数，即 β_1

包含两种暴露交互作用的回归模型

如果结局变量为二分类变量（0=否，1=是），适用于 logistic 回归模型

$$\text{Log}(p/(1-p)) = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2$$

e^{β_1} 是当 $X_2=0$ 时 X_1 的效应（比值比），即 X_1 的主效应

e^{β_2} 是当 $X_1=0$ 时 X_2 的效应（比值比），即 X_2 的主效应

e^{β_3} 反映 X_1 和 X_2 均存在时附加的效应（比值比），即 X_1 和 X_2 的交互作用

如果结局变量为连续性变量，适用于线性回归：

$$Y = \beta_0 + \beta_1 * X_1 + \beta_2 * X_2 + \beta_3 * X_1 * X_2,$$

以回归系数来表示 X 对 Y 的效应

回归系数 β_1 是当 $X_2=0$ 时 X_1 的效应，即 X_1 的主效应

回归系数 β_2 是当 $X_1=0$ 时 X_2 的效应，即 X_2 的主效应

回归系数 β_3 反映 X_1 和 X_2 均存在时附加的效应，即 X_1 和 X_2 的交互作用

统计模拟分析过程需要的参数

包含二分类结局变量 Y 和二分类暴露变量 X 的模型

- Y 在研究人群中的发生率
- X 在研究人群中出现的概率
- 暴露变量 X 对 Y 的作用（有 X 时发生 Y 的比值与无 X 时发生 Y 的比值比），即待计算的效应（OR）
- 样本量，包括研究对象总数

二分类结局变量 Y 和连续性暴露变量 X 的模型

- Y 在研究人群中的发生率
- X 在研究人群中的均数和标准差
- X 每改变一个单位，发生 Y 的比值比，即待计算的效应（OR）

- 样本量，包括研究对象总数

连续性结局变量 Y 和二分类暴露变量 X 的模型

- Y 在研究人群中的均数和标准差
- X 在研究人群中出现的概率
- 暴露变量 X 对 Y 的回归系数，待计算的效应
- 样本量，包括研究对象总数

连续性结局变量 Y 和连续性暴露变量 X 的模型

- Y 在研究人群中的均数和标准差
- X 在研究人群中的均数和标准差
- X 每改变一个单位对 Y 的回归系数，待检测的效应
- 样本量，包括研究对象总数

二分类结局变量，探索暴露变量 X1（二分类）和 X2（二分类）的交互作用的模型

- Y 在研究人群中的发生率
- X1 在研究人群中出现的概率
- X2 在研究人群中出现的概率
- X2 与 X1 的联系，即有 X1 时出现 X2 的比值，与无 X1 时出现 X2 的比值比，若两者相互独立，则定为 1
- X1 的主效应（比值比）
- X2 的主效应（比值比）
- 交互作用项 的比值比，待计算的效应
- 样本量，包括研究对象总数

二分类结局变量 Y，探索暴露变量 X1（二分类）和 X2（连续性）的交互作用的模型

- Y 在研究人群中的发生率
- X1 在研究人群中出现的概率
- X2 在研究人群中的均数和标准差
- X1 对 X2 的作用，即 X1=1 和 X1=0 时的 X2 的均值的差值，如果 X2 和 X1 相互独立，设为 0
- 交互作用项的比值比，待计算的效应
- 样本量，包括研究对象总数

连续性结局变量 Y，探索暴露变量 X1（二分类）和 X2（二分类）的交互作用的模型

- Y 在研究人群中的均数和标准差
- X1 在研究人群中出现的概率
- X2 在研究人群中出现的概率
- X2 与 X1 的联系，即有 X1 时出现 X2 的比值，与无 X1 时出现 X2 的比值比，若两者相互独立，则定为 1
- X1 的主效应（回归系数）
- X2 的主效应（回归系数）
- 交互作用项 的回归系数
- 样本量，包括研究对象总数

连续性结局变量 Y，探索暴露变量 X1（二分类）和 X2（连续性）的交互作用的模型

- Y 在目标人群中的均数和标准差

- X1 在研究人群中出现的概率
- X2 在研究人群中的均数和标准差
- X1 对 X2 的作用，即 X1=1 和 X1=0 时的 X2 的均值的差值，如果 X2 和 X1 相互独立，设为 0
- X1 的主效应（回归系数）
- X2 的主效应（回归系数）
- 交互作用项 的回归系数
- 样本量，包括研究对象总数

重复测量数据

重复测量数据按危险因素 X 是否随时间变化分两大类：

1. X 随时间变化，是连续性变量

回归模型为： $Y = a_0 + a_1 * T$, $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T$

2. X 不随时间变化，属 0/1 两分类变量或连续性变量

$Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T + b_3 * X * T$

根据模型中 $a_0, a_1, b_0, b_1, b_2, b_3$ 及 X、T 参数进行计算机模拟，这些参数可以通过现有数据通过拟合上述方程得出。

例 1. 病例对照研究模拟交互作用检验效率，输入界面：

标题:	输出文件名:	模拟数据数:	输出路径 (置空表示到我的文档; "."表示到当前工作目录):
模拟检验效率	powerSim	1000	

病例-对照研究

两分类暴露变量，检测暴露组与非暴露组的比值比:

连续性暴露变量，检测每单位暴露量的增加导致发病的比值比:

两分类暴露变量I，两分类暴露变量II，检测暴露变量I与II的交互作用:

两分类暴露变量I，连续性暴露变量II，检测暴露变量I与II的交互作用:

一般人群中暴露I者占的比例	0.3	病例数:	100, 200, 300, 400, 500
一般人群中暴露II的平均值	22	对照数:	100, 200, 300, 400, 500
一般人群中暴露II的标准差	2.0	交互作用 OR=	1.1, 1.3, 1.5
暴露I对暴露II的作用	0		<input type="button" value="开始模拟"/>
暴露I的主作用(OR)	1.5		
暴露II的主作用(OR)	1.1		

输出结果：

模拟检验效率

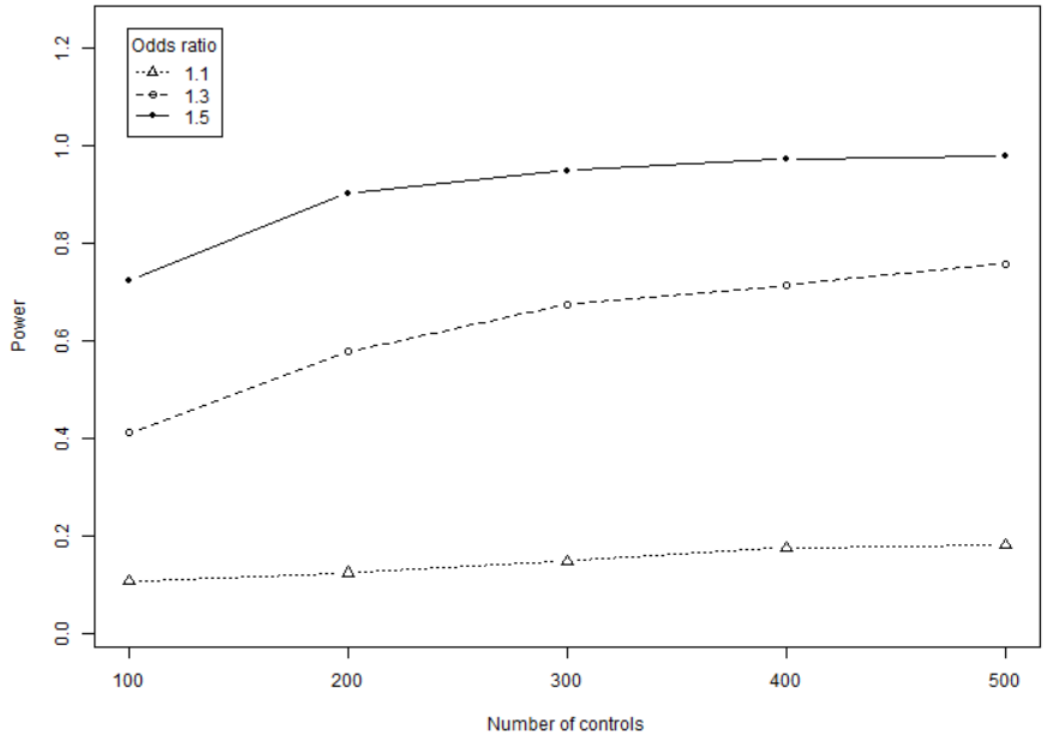
Power by sample size and effect

	ia (OR. ia: 1. 1)	ia (OR. ia: 1. 3)	ia (OR. ia: 1. 5)	x1 (OR. ia: 1. 1)	x1 (OR. ia: 1. 3)	x1 (OR. ia: 1. 5)	x2 (OR. ia: 1. 1)	x2 (OR. ia: 1. 3)	x2 (OR. ia: 1. 5)
N. ctrl=100, N. case=200	0. 108	0. 412	0. 722	0. 305	0. 302	0. 262	0. 232	0. 237	0. 253
N. ctrl=200, N. case=200	0. 125	0. 577	0. 902	0. 455	0. 421	0. 417	0. 338	0. 345	0. 360
N. ctrl=300, N. case=200	0. 148	0. 674	0. 948	0. 540	0. 503	0. 481	0. 380	0. 402	0. 403
N. ctrl=400, N. case=200	0. 176	0. 713	0. 972	0. 587	0. 525	0. 540	0. 427	0. 437	0. 449
N. ctrl=500, N. case=200	0. 182	0. 757	0. 977	0. 624	0. 559	0. 555	0. 452	0. 455	0. 471

Parameters:

- Prevalence of exposure X1 among general population: 0. 3
- Mean of exposure X2 among general population: 22
- Standard deviation of exposure X2 among general population: 2
- Effect of Exposure X1 on X2: 0
- Main effect (OR) of Exposure X1: 1. 5
- Main effect (OR) of Exposure X2: 1. 1

样本量和 OR 值与检验效能的关系图:



注解: 表中“ia (OR. ia:1.1)”表示当交互作用 OR=1.1 时, 对交互作用项的检验效能, “X1 (OR. ia:1.1)”表示当交互作用 OR=1.1 时, 对 X1 的作用项的检验效能。

其他注意事项:

- 病例对照研究中，病例数和对照数是统计效能模拟需要的参数，首先确定对照数，然后输入不同的病例数，或确定病例数，然后输入不同的对照数（逗号分隔），得到不同样本量的统计效能。
- 队列研究中，暴露组数和非暴露组数 是统计效能模拟需要的参数。首先确定非暴露组人数，然后输入不同的暴露组人数，或确定暴露数，再输入不同的非暴露数（逗号分隔），得到不同样本量的统计效能。
- 横断面研究中，分别填入不同的样本量（逗号分隔），得到不同样本量的统计效能。

效应值的统计效能模拟

- 填入三个不同的效应值（逗号分隔），计算针对不同效应值的统计效能

显著性检验水准： α

- 默认值为 0.05

模拟次数

- 默认的运行次数为 1000（可以修改）。通过随机生成的 1000 个数据运行的 1000 次回归中得出的 1000 个 P 值，统计多少 P 值小于显著性检验水准 α ，以此计算的统计效能。

输出

- 默认的输出格式包括随着样本量和效应值改变统计效能改变的表格，如果给定了 3 个或以上的样本量，系统同时绘制样本量与统计效能关系图。
- 每次运行的模型参数（包括回归系数和 P 值）保存在 xls 文件中。

例 2. 连续性变量 X 随时间变化的重复测量数据检验效率模拟输入界面：

重复测量: 连续性结局变量, 连续性暴露变量X, X随时间变化

回归模型: $Y=b_0+b_1*X+b_2*T$		$X=a_0+a_1*T$	
b0:	mean: <input type="text" value="20"/>	sd: <input type="text" value="5"/>	a0: mean: <input type="text" value="10"/>
			sd: <input type="text" value="4"/>
b1:	mean: <input type="text" value="5"/>	sd: <input type="text" value="2"/>	a1: mean: <input type="text" value="4"/>
			sd: <input type="text" value="1"/>
b2:	mean: <input type="text" value="4"/>	sd: <input type="text" value="1"/>	X: mean: <input type="text" value="a0 + a1*T"/>
			sd: <input type="text" value="5"/>
Y:	mean: <input type="text" value="b0 + b1*X + b2*T"/>	sd: <input type="text" value="5"/>	
观察对象数	<input type="text" value="15"/>	重复观察数:	<input type="text" value="5"/>
		时间 T常数:	<input type="text" value="1,2,3,4,5"/>
			<input type="button" value="开始模拟"/>

输出结果:

Simulation summary

N of iter: 1000

Regression model: $Y = b_0 + b_1*X + b_2*T$; $X = a_0+a_1*T$

Parameters pre-set: $b_0 = 20$, $b_1 = 5$, $b_2 = 4$, $a_0 = 10$, $a_1 = 4$

Summary of regression coefficients:

	BETA. X. MIXED	BETA. T. MIXED	BETA. X. GEE	BETA. T. GEE
Min	2.780	-3.109	-0.755	-18.045
Q1	4.459	3.004	3.940	1.066
Median	5.027	4.036	4.929	4.173
Mean	4.959	4.130	4.908	4.342
Q3	5.492	5.216	5.872	7.900
Max	6.974	10.507	9.257	24.254

Summary of P-value

	PV. X. MIXED	PV. T. MIXED	PV. X. GEE	PV. T. GEE
<0.0001	1000	13	583	21
<0.001	1000	82	721	46
<0.01	1000	249	847	128
<0.05	1000	506	933	252
<0.1	1000	651	958	346

结果解释:

分别运用 Mixed 模型与 GEE 模型对模拟数据进行分析, .MIXED 表示 MIXED 模型结果, .GEE 表示 GEE 模型结果

- BETA. X. MIXED、BETA. T. MIXED、BETA. X:T. MIXED 分别为 MIXED 模型 $Y = b_0 + b_1*X + b_2*T + b_3*X*T$ 中的 b_1 、 b_2 、 b_3
- BETA. X. GEE、BETA. T. GEE、BETA. X:T. GEE 分别为 GEE 模型 $Y = b_0 + b_1*X + b_2*T + b_3*X*T$ 中的 b_1 、 b_2 、 b_3

表 1 中的结果可以与输入参数比较, 均数与中位数应该与输入参数一致。

- PV. X. MIXED、PV. T. MIXED、PV. X:T. MIXED 分别为 MIXED 模型 $Y = b_0 + b_1*X + b_2*T + b_3*X*T$ 中 b_1 、 b_2 、 b_3 的 P 值
- PV. X. GEE、PV. T. GEE、PV. X:T. GEE 分别为 GEE 模型 $Y = b_0 + b_1*X + b_2*T + b_3*X*T$ 中 b_1 、 b_2 、 b_3 的 P 值

表 2 中的数字/1000 即为 power (检验效能): 如以 $p < 0.05$ 为显著性水准, 从表 2 可知:

- mixed 模型检验出 X 的效应的效能为 $1000/1000=100\%$,
- GEE 模型检验出 X 的效应的效能为 $933/1000=93.3\%$ 。

例 3. X 不随时间变化的 0/1 两分类变量, 重复测量数据检验效率模拟输入界面

重复测量 连续性结局变量, 两分类或连续性暴露变量X, X不随时间变化

回归模型: $Y = b_0 + b_1 \cdot X + b_2 \cdot T + b_3 \cdot X \cdot T$

b0:	mean: <input type="text" value="20"/>	sd: <input type="text" value="5"/>	b1:	mean: <input type="text" value="5"/>	sd: <input type="text" value="2"/>
b2:	mean: <input type="text" value="4"/>	sd: <input type="text" value="1"/>	b3:	mean: <input type="text" value="10"/>	sd: <input type="text" value="4"/>
X:	mean:(如是0/1两分类%) <input type="text" value="0.50"/>	sd (如是连续性X): <input type="text"/>			
Y:	mean: $b_0 + b_1 \cdot X + b_2 \cdot T + b_3 \cdot X \cdot T$	sd: <input type="text"/>			
观察对象数	<input type="text" value="15"/>	重复观察数:	<input type="text" value="5"/>	时间 T常数:	<input type="text" value="1,2,3,4,5"/>

输出结果:

Simulation summary

N of iter: 1000

Regression model: $Y = b_0 + b_1 \cdot X + b_2 \cdot T + b_3 \cdot X \cdot T$

Parameters pre-set: $b_0 = 20, b_1 = 5, b_2 = 4, b_3 = 10$

Summary of regression coefficients:

	BETA. X. MIXED	BETA. T. MIXED	BETA. X: T. MIXED	BETA. X. GEE	BETA. T. GEE	BETA. X: T. GEE
Min	-7.515	2.157	3.321	-7.515	2.157	3.321
Q1	2.287	3.547	8.851	2.287	3.547	8.851
Median	4.759	3.983	10.028	4.759	3.983	10.028
Mean	4.850	3.999	10.003	4.850	3.999	10.003
Q3	7.432	4.480	11.194	7.432	4.480	11.194
Max	18.578	5.970	16.032	18.578	5.970	16.032

Summary of P-value

	PV. X. MIXED	PV. T. MIXED	PV. X: T. MIXED	PV. X. GEE	PV. T. GEE	PV. X: T. GEE
<0.0001	0	885	997	33	960	927
<0.001	1	973	1000	67	992	981
<0.01	2	1000	1000	176	1000	997
<0.05	31	1000	1000	307	1000	1000
<0.1	77	1000	1000	416	1000	1000

结果解释:

分别运用 Mixed 模型与 GEE 模型对模拟数据进行分析, .MIXED 表示 MIXED 模型结果, .GEE 表示 GEE 模型结果

- BETA. X. MIXED、BETA. T. MIXED、BETA. X:T. MIXED 分别为 MIXED 模型 $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T + b_3 * X * T$ 中的 b_1 、 b_2 、 b_3
- PV. X. MIXED、PV. T. MIXED、PV. X:T. MIXED 分别为 MIXED 模型 $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T + b_3 * X * T$ 中 b_1 、 b_2 、 b_3 的 P 值

表 1 中的结果可以与输入参数比较, 均数与中位数应该与输入参数一致。

- BETA. X. GEE、BETA. T. GEE、BETA. X:T. GEE 分别为 GEE 模型 $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T + b_3 * X * T$ 中的 b_1 、 b_2 、 b_3
- PV. X. GEE、PV. T. GEE、PV. X:T. GEE 分别为 GEE 模型 $Y = b_0 + b_1 * X + b_2 * T + b_3 * X * T$ 中 b_1 、 b_2 、 b_3 的 P 值

表 2 中的数字/1000 即为 power (检验效能): 如以 $p < 0.05$ 为显著性水准, 从表 2 可知:

- mixed 模型检验出 X 的效应的效能为 $31/1000=3.1\%$, 检验出 T 的效应的效能为 $1000/1000=100\%$, 检验出 X 与 T 交互作用的效能为 $1000/1000=100\%$ 。
- GEE 模型检验出 X 的效应的效能为 $307/1000=30.7\%$, 检验出 T 的效应的效能为 $1000/1000=100\%$, 检验出 X 与 T 交互作用的效能为 $1000/1000=100\%$ 。