基于分类模型的慢性病相关因素研究

摘要

以心脑血管疾病、糖尿病、恶性肿瘤以及慢性阻塞性肺病为代表的慢性非传染性疾病（以下简称慢性病）已经成为影响我国居民身体健康的重要问题。随着人们生活方式的改变，慢性病的患病率持续攀升。众所周知，健康状况与年龄、饮食习惯、身体活动情况、职业等都有密切的关系。如何通过合理地安排膳食、适量的身体运动、践行健康的生活方式，从而达到促进身体健康的目的，这是全社会普遍关注的问题。

针对问题一：通过中国营养学会最新修订的《中国居民膳食指南》中为平衡居民膳食提出的八条准则，利用附件 A2 的调查数据，我们对数据进行整合计算，得到例如每人每日谷薯类食物摄入量、BMI 等新指标，设立对应标准以评判居民在食物多样性、吃动平衡性、多吃蔬果奶类等饮食习惯上的合理性。

针对问题二：在附件 A2 以及第一问设立的新指标的基础上，我们建立 GUIDE 决策树模型，分别寻找年龄、性别、文化程度、婚姻状况、职业与生活习惯、饮食习惯之间的关联，并通过重要性评分，来探寻不同的生活、饮食习惯对年龄、性别、文化程度、婚姻状况、职业相关性程度。

针对问题三：按照世界卫生组织给出的慢性病判断标准，我们给人群设定是否得高血压、是否得糖尿病、是否得高血脂、是否得高尿酸血症这四种慢性病指标。在附件 A2 以及第一问设立的新指标的基础上，结合上述慢性病指标，我们建立二分类 Logistic 回归模型，根据“奥卡姆剃刀”原理进行两次回归处理和显著性 p 值检验，得到了关于高血压、糖尿病、高血脂、高尿酸血脂和吸烟、饮酒、饮食习惯、工作状况、运动强度等因素之间的联系。

针对问题四：在问题一与问题三建立的模型基础上，我们将居民划分为四大类。即慢性病患者、潜在慢性病患者、习惯不合理的健康居民以及习惯合理的健康居民。我们通过每一类人群与其对应模型中的强相关因素，给每一类人群给出适当的饮食、生活上的建议。

关键词：慢性病；决策树；Logistic 回归

1 问题重述

近年来，随着人们生活方式的改变，我国居民慢性病的患病率持续攀升，以心脑血管疾病、糖尿病、恶性肿瘤以及慢性阻塞性肺病为代表的慢性非传染性疾病已经成为影响我国居民身体健康的重要问题。为了研究年龄、饮食习惯、身体活动情况、职业等因素对健康状况的影响关系，某市卫生健康研究部门对部分居民进行了问卷调查。相应的问卷表及调查结果如附件所示。请参考《中国居民膳食指南》中提出的平衡膳食的八条准测，探究并解决以下问题：

问题 1：参考附件 A3，分析附件 A2 中居民的饮食习惯的合理性并说明存在的主要问题。

问题 2：根据附件 A2 中的数据，分析居民的生活习惯和饮食习惯是否与年龄、性别、婚姻状况、文化程度、职业等因素相关。

问题 3：根据附件 A2 中的数据，深入分析常见慢性病（如高血压、糖尿病等）与吸烟、饮酒、饮食习惯、生活习惯、工作性质、运动等因素的关系以及相关程度。

问题 4：依据附件 A2 中居民的具体情况，对居民进行合理分类，并针对各类人群提出有利于身体健康的膳食、运动等方面的合理建议。

2 问题分析与数据处理

2.1 数据预处理

附件 A2 中的数据存在以下缺陷不便于分析，先进行数据预处理如下：

缺陷 1：附件 A2 数据表存在较多空行，部分数据无 ID 序号，影响数据导入程序。

解决 1：手动删除空行并重新编号。

缺陷 2：饮酒情况与饮食情况的用量数据单位不统一，不便与平衡膳食的八条准则比对。

解决 2：统一用量单位为“克每人每日”，具体量器单位换算参考附件 A1。

预处理后的数据表详见附件“数据处理.xlsx”。进行了行位置调整的数据 ID 用红色标记，用量单位换算后得到的数据用黄色列展示。

2.2 问题一的分析与数据处理

题目要求分析居民饮食习惯的合理性，只需关注饮酒情况与饮食情况的调查数据。对于八条准则中要求控制摄入量的膳食，如果其在问卷中仅对应一种食物（例如：每天摄入不少于 300g 的新鲜蔬菜，“新鲜蔬菜”膳食仅对应问卷中“新鲜蔬菜”这一种食物），则以该食物的摄入量作为该膳食的摄入量；如果该膳食对应问卷中的多种食物（例如：每天摄入约 120-200g 的鱼禽、蛋类和瘦肉，“鱼禽、蛋类和瘦肉”膳食对应问卷中的“猪肉、牛羊肉、禽肉、水产品、蛋类”五种食物），则以多种对应食物的摄入量之和作为该膳食的摄入量。

经过上述处理可得每种膳食不同人的日摄入量。继而绘制散点图，对同种膳食每人的日摄入量求平均值并与八条准则中的标准值相比较，从而分析居民饮食习惯中的问题及八条准则的合理性。

2.3 问题二的分析与数据处理

问题二探究的是单一离散变量（如年龄，婚姻状况）不同种类关于多变量（生活、饮食习惯）之间的特征关系，考虑到决策树分类器对自变量因素的选择能力和特点，决定采用 GUIDE

决策树模型，通过考虑不同变量对因变量种类分类的差异性能力来进行重要性评分，来得到分类模型与不同人群的特征。

由于生活、饮食习惯中的因素往往相互关联互相作用，除问卷中调查的各项指标外，我们也参考了相关资料 [1]，将某些指标合并作为新的因子，整理得到“生活、饮食习惯”的参考指标（详见附件“变量说明.xlsx”）。

2.4 问题三的分析与数据处理

从体检指标入手，根据世界卫生组织给出的慢性病评价标准，为居民们标注是否高血压、是否糖尿病、是否高血脂、是否高尿酸血症这四种慢性病指标。由于这些慢性病指标为 0-1 的二分类指标，考虑分别对其使用 Logistic 回归模型，自变量为吸烟、饮酒、饮食习惯、工作状况、运动等指标。

由于自变量维度过高，对每个自变量使用显著性 p 值检验，p 值高于 0.05 的自变量即为在模型中表现不显著，去除；p 值低于 0.05 的自变量即为在模型中表现显著，保留。根据奥卡姆剃刀原理，利用留下的有显著影响的自变量再进行一次 Logistic 回归，得到各慢性病与生活习惯饮食习惯之间的关系。

2.5 问题四的分析与数据处理

根据问题一与问题三给出的分类模型，我们尝试对居民的健康状况进行分类。利用问题三中给出的慢性病评价标准，我们将人群分出慢性病患者；利用问题三中的慢性病预测模型，我们将非患者人群中分出潜在慢性病患者；利用问题一给出的生活饮食习惯评价指标，分出了习惯不合理的健康人群以及习惯合理的健康人群。依据问题三中给出的慢性病预测模型和相关因素，我们给慢性病患者和潜在慢性病患者给出合适的膳食运动建议；依据问题一给出的习惯评价指标，为习惯不合理的健康人群给出合适的膳食运动建议。

3 模型假设

假设一：问卷调查时间为 2023 年。

分析居民的生活习惯时，年龄、烟龄是重要的指标，但问卷中并未明确。鉴于最新版《中国居民膳食指南》出版时间为 2022 年，假设问卷调查时间为 2023 年，即居民的年龄、烟龄为 2023 年的年龄、烟龄。

假设二：啤酒 5°，葡萄酒 12°，黄酒 15°，低度白酒 35°，高度白酒 50°。

平衡膳食的八条准则中对每日摄入酒精含量做出了明确规定，但问卷中并未明确酒精含量。经充分考察资料 [2] ，假设问卷中的酒精含量为上述值。

假设三：主要成分相同的食物具有可加性（酒精参考假设 2）。

由于问卷中的食物种类较多，且每种食物的成分不同，为了方便计算，假设主要成分相同的食物具有可加性，即每种食物的主要成分之和为该食物的总成分。（例如：奶制品摄入量 = 牛奶摄入量 + 酸奶摄入量 + 奶酪摄入量）

假设四：奶制品的标准摄入量为 200-500g/人/日

附件 A3 仅给出了奶制品的最高摄入量而无最低摄入量，显然不够科学。经充分查阅相关资料 [1] ，假设奶制品的标准摄入量为 200-500g/人/日。

4 问题一的建模与求解

4.1 模型建立

根据八条准则提出的膳食标准是否精确到克数，分为定量型标准和非定量型标准。

4.1.1 定量型膳食标准

定量型标准（克每人每日）包含以下内容：

膳食名称	对应食物的问卷编号	标准摄入量（克每人每日）
新鲜蔬菜	D22	$\geq$ 300g
新鲜水果	D28	200-350g
奶制品	D14,D15,D16	200-500g
烹调油	D31,D32	25-30g
食用盐	D33	<5g
酒精	C3,C4,C5,C6,C7	<15g
鱼禽蛋瘦肉	D9,D10,D11,D13,D17	120-200g

表 1: 平衡膳食八准则之定量型标准
（注：根据假设 *3.5*，奶制品的标准摄入量 *200-500g*）

根据问题分析 2.2 中提出的膳食摄入量计算方法，计算调查群体中每人每日的各膳食摄入量（见附件” 问题 1-1 摄入量数据计算.xlsx”）并绘制频率分布直方图（见附录 1）。注意：根据假设 3.4，奶制品、烹调油、鱼禽蛋瘦肉这三类膳食得摄入量计算公式为（克每人每日）：

$$\begin{cases} \text{奶制品摄入量} = \text{牛奶摄入量} + \text{酸奶摄入量} + \text{奶酪摄入量} \\ \text{烹调油摄入量} = \text{植物油摄入量} + \text{动物油摄入量} \\ \text{鱼禽蛋瘦肉摄入量} = \text{猪肉摄入量} + \text{牛羊肉摄入量} + \text{禽肉摄入量} + \text{水产品摄入量} + \text{蛋类摄入量} \end{cases} \tag{4.1.1}$$

根据假设 3.2，酒精摄入量的计算公式为（克每人每日）：

$$\begin{aligned} \text{酒精摄入量} = 5\% * \text{啤酒摄入量} + 12\% * \text{葡萄酒摄入量} + 15\% * \text{黄酒摄入量} \\ + 35\% * \text{低度白酒摄入量} + 50\% * \text{高度白酒摄入量} \end{aligned} \tag{4.1.2}$$

各膳食经运算后得到数据如下表所示：

膳食名称	平均摄入量（克每人每日）	标准摄入量（克每人每日）	达标百分比
新鲜蔬菜	289.67g	≥ 300g	51.82%
新鲜水果	151.05g	200-350g	21.12%
奶制品	93.64g	200-500g	13.97%
烹调油	46.65g	25-30g	11.74%
食用盐	5.77g	<5g	51.71%
酒精	3.466g	<15g	91.21%
鱼禽蛋瘦肉	234.88g	120-200g	30.81%

表 2: 定量型膳食平均摄入量与标准摄入量对比表

4.1.2 非定量型膳食标准

非定量型标准（不精确到克数）包含以下内容：

“每周最好吃水产品 2 次，每天吃 1 个鸡蛋不弃蛋黄。”

因问卷中统计的食物摄入频率单位不一致，故统一单位为“次每人每日”。水产品标准摄入频率 2 次/周 =0.286 次/人/日，鸡蛋标准摄入频率 1 个/天 =1 个/人/日。经数据计算（详见附件“问题 1-2 数据计算.xlsx”），得各项平均值和达标率如下表所示：

	平均值	标准值	达标率
水产品频率（次/日）	0.456	≥0.286	45.01%
鸡蛋频率（个/日）	0.435	≥1	15.58%

表 3: 非定量型膳食平均摄入频率与标准摄入频率对比表

4.2 模型求解与结论

4.2.1 饮食习惯合理性分析

观察数据散点图（详见附录 1.1）并比较平均摄入量与标准摄入量，发现居民各膳食平均摄入量均集中在标准摄入量附近，表明平衡膳食八准则较好地贴合了居民的饮食习惯，居民的饮食调查数据也较为真实可信。

4.2.2 饮食存在的主要问题

观察数据散点图并比较各膳食达标百分比，得出结论：

1. 酒精摄入量控制的很好，达标率高达 91.21%。

2. 新鲜蔬菜、新鲜水果摄入量不足，奶制品摄入量不足。

3. 食用盐摄入过量，烹调油摄入尤为过量

4. 鱼禽蛋瘦肉摄入过多，应减少至 120-200g。

5. 鸡蛋摄入频率普遍偏低，应保证每天食用一个鸡蛋。

6. 水产品摄入频率方差较大，不达标的家庭应当增加水产品摄入频率，部分摄入过多的家庭应适当减少摄入。

5　问题二的建模与求解

5.1　模型建立

考虑到 GUIDE 算法可容纳的自变量维度极高，且可对不同变量进行数值型 (numeric)，类别型 (category), 循环型 (cyclic) 的分类，极大地保留变量本身的类型属性，故使用 GUIDE 决策树分类算法进行分类预测。将自变量 x 与因变量 Y 之间的相关程度通过 Chi-squared 检验来进行相关性排名和 p-value 计算，得到变量的排名列表与置信度，再通过变量排名列表选择分类结点对样本数据进行决策分类（代码详见附录 2）。

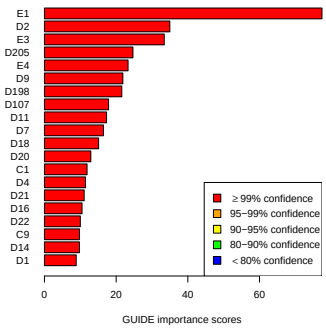
5.1.1　数据分层——A2 年龄与生活、饮食习惯

我们将年龄进行分层处理，依据 7-12 岁为少儿；13-17 岁为青少年；18-45 岁为青年；46-69 岁为中年；69 岁以上为老年的标准进行划分。样本中数据中年龄最大值为 123，年龄最小值为 29，其中 ≥100 岁的样本仅有 4 例，故考虑剔除 ≥100 岁的样本以减小误差。继而结合样本数据的数值特征进行分类：18-45 岁为 1 类，46-69 岁为 2 类，69 岁以上为 3 类。对这三类人群使用 GUIDE 决策树算法，将生活、饮食习惯设置为变量得到分类结果。

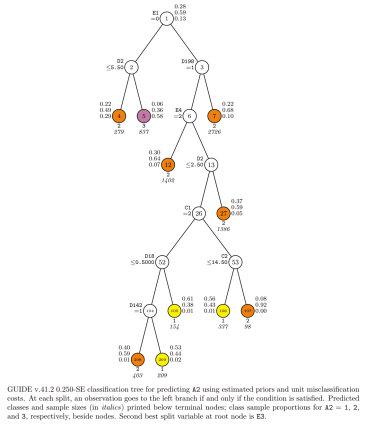
5.2　模型求解与结论

5.2.1　A2 年龄与生活、饮食习惯

代码实现得到了 GUIDE 决策树算法中自变量与因变量年龄之间相关性的评分，以下为分类置信度 99% 的前 20 名变量与决策树可视化示意图。



(a) 年龄 vs 生活、饮食习惯变量的重要性排名



(b) 年龄与生活、饮食习惯的决策树可视化

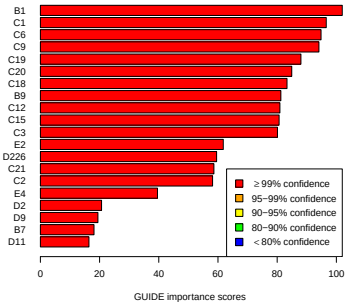
图 1: *A2* 年龄与生活、饮食习惯决策树结果

可以看到 E1,D2,E3,D205,E4 因素对分类结果影响较大，即不同年龄的人在工作属于的活动、一周在家吃早餐的次数、是否参加体育锻炼、是否吃其它饮料、是否参加体育锻炼在这些方面差异较大。通过决策树模型我们也可以发现：18-45 岁的青年人群主要从事中重度的工作，喝果汁，体育锻炼强度大，一周在家吃早餐的天数少（≤2）, 其中不饮酒的人更愿意在单位食堂吃晚餐且不爱吃干豆。46-69 的中年人群体分支较多：中年人中的离退休人群较老年人不爱

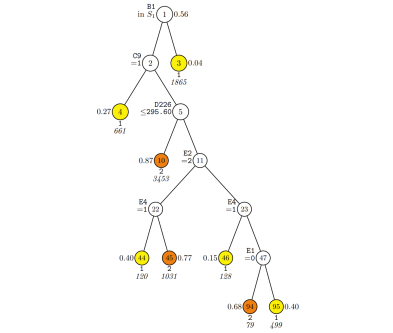
在家中吃早饭；仍在工作的中年人较不爱喝果汁，体育锻炼强度小，较青年人爱在家吃早饭，也更爱吃干豆。老年人群体一周在家吃早餐的时间在 6 天以上。

5.2.2 A3 性别与生活、饮食习惯

我们得到 GUIDE 决策树算法中自变量与因变量性别之间相关性的评分，以下是分类置信度 >99% 的前 20 名变量与决策树可视化。



(a) 性别 vs 生活、饮食习惯变量的重要性排名



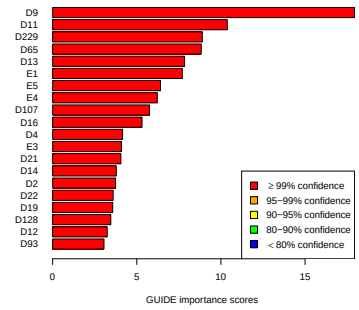
(b) 性别与生活、饮食习惯的决策树可视化

图 2: *A3* 性别与生活、饮食习惯决策树结果

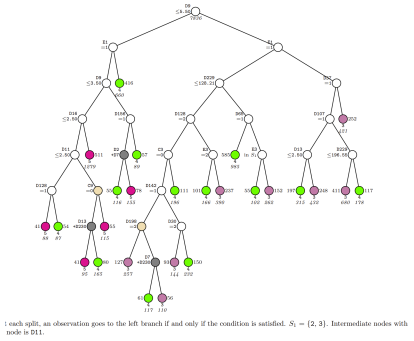
可以看到因素 B1 是否吸烟、C1 是否饮酒、C6 是否饮用低度白酒、C9 是否饮用啤酒、C19 度数加权平均每次饮酒量、C20 每周饮用酒精量对分类结果影响比较大。通过决策树模型我们可以发现，男性在生活习惯上，较女性更会养成吸烟、饮酒的习惯。有意思的是，男性谷薯类食物的摄入量较高，即男性在主食上食用量较大。

5.2.3 A6 文化程度与生活、饮食习惯

我们得到 GUIDE 决策树算法中自变量与因变量文化程度之间相关性的评分，以下是分类置信度 >99% 的前 20 名变量与决策树可视化。



(a) 文化程度 vs 生活、饮食习惯变量的重要性排名



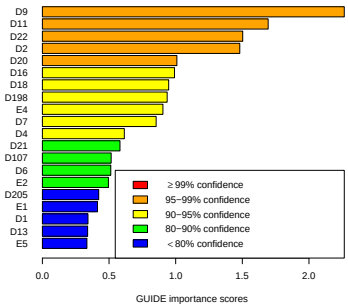
(b) 文化程度与生活、饮食习惯的决策树可视化

图 3: *A6* 文化程度与生活、饮食习惯

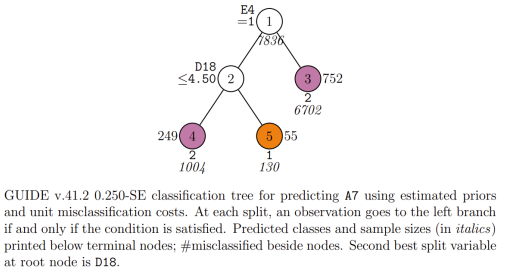
可以看到 D9 在家吃中餐、D11 在单位食堂吃中餐、D229 奶类大豆坚果制品、D65 是否吃牛羊肉、D13 工作日在家吃中餐人数、E1 工作主要属于何种强度活动、E5 平均每天体育锻炼时间对分类结果影响比较大。侧面说明文化程度越高的居民，午餐更倾向规律，并且工作强度倾向较低，日常锻炼时间倾向较少。

5.2.4 A7 婚姻状况与生活、饮食习惯

我们得到 GUIDE 决策树算法中自变量与因变量婚姻状况之间相关性的评分，以下是分类置信度 >99% 的前 20 名变量与决策树可视化。



(a) 婚姻状况 vs 生活、饮食习惯的重要性排名



GUIDE v.41.2 0.250-SE classification tree for predicting A7 using estimated priors and unit misclassification costs. At each split, an observation goes to the left branch if and only if the condition is satisfied. Predicted classes and sample sizes (in *italics*) printed below terminal nodes; #misclassified beside nodes. Second best split variable at root node is D18.

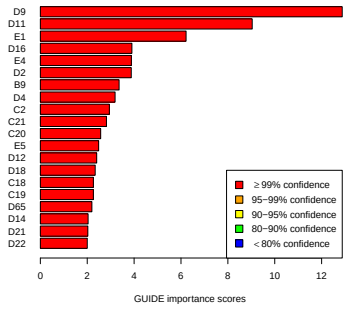
(b) 婚姻状况与生活、饮食习惯的决策树可视化

图 4: *A6* 文化程度与生活、饮食习惯

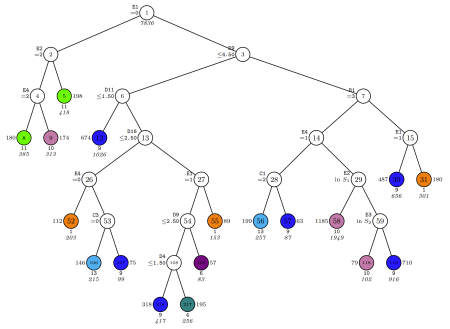
可以看到未婚人群中参与高强度的体育体育锻炼的人明显更多，且更倾向于在单位食堂吃晚餐；已婚人群更倾向于在家中吃晚餐，且更倾向于做中低强度的运动。

5.2.5 A8 职业与生活、饮食习惯

我们得到 GUIDE 决策树算法中自变量与因变量职业之间相关性的评分，以下是分类置信度 >99% 的前 20 名变量与决策树可视化。



(a) 职业 vs 生活、饮食习惯变量的重要性排名



GUIDE v.41.2 0.250-SE classification tree for predicting A8 using estimated priors and unit misclassification costs. At each split, an observation goes to the left branch if and only if the condition is satisfied. $S_1 = \{0, 2\}$. $S_2 = \{0, 4\}$. Predicted classes and sample sizes (in *italics*) printed below terminal nodes; #misclassified beside nodes. Second best split variable at root node is D9.

(b) 职业与生活、饮食习惯的决策树可视化

图 5: *A8* 职业与生活、饮食习惯

可以看到 D9 在家吃中餐、D11 在单位食堂吃中餐、E1 工作主要属于何种强度活动、D16 在家吃晚饭、E4 体育锻炼的强度、D2 在家吃早饭对分类结果影响比较大。从中说明，不同的

职业，中餐晚餐食用地点差别较大，工作强度差别较大，日常体育锻炼的强度差异较大。学生的体育锻炼强度大，且在家中的休闲劳动强度也较大；工人几乎不参加体育锻炼 (E4=0)，一日三餐很少在家中吃，有趣的是在家中吃饭的工人几乎都有烟史；家庭妇女大部分的活动大部分都是中度家务，且有趣的是家庭妇女要么一周运动 >5 天，要么不参加锻炼，可能是由于部分居民认为家务也是锻炼的一部分。行政干部大都选择早上和中午在食堂就餐，晚上回家吃晚饭；商业服务人员有饮酒史的多，他们的三餐就餐地点比较多样化，且大部分都有锻炼的习惯。

6 问题三的建模与求解

6.1 模型建立

根据世界卫生组织发布的指南，从受试者体检指标中得到受试者四种慢性病的情况。

慢病 1. 高血压：收缩压 $\geq$140mmHg 并且舒张压 $\geq$90mmHg

慢病 2. 糖尿病：空腹血糖 $\geq$ 7.0 mmol/L

慢病 3. 高血脂：总胆固醇 $\geq$ 6.2mmol/L 或者高密度脂蛋白 $<$ 1.0 mmol/L 或者低密度脂蛋白 $\geq$ 24.1 mmol/L 或者总甘油三酯 $\geq$ 2.3mmol/L

慢病 4. 高尿酸血症：血尿酸 $\geq$ 420 mol/L

将得某慢性病的居民在对应列记作 1，未得病则记作 0。建立 logistic 二分类回归模型，探究慢性病和与吸烟、饮酒、饮食习惯、生活习惯、工作性质、运动等因素的关系以及相关程度。

$$\text{logistic 回归：}\ \ln(\frac{P(Y=1)}{1-P(Y=1)}) = a_0 + \sum_{i=1}^{n} a_i X_i \tag{6.1.1}$$

利用最小二乘法计算系数大小，从而得到 X_i 与 Y 的相关性，进一步可得相关性显著程度。

6.2 模型求解与结论

6.2.1 高血压（占比 5.2%）

首先考虑所有可能有关变量，得到 logistic 回归数据（详见附录 3.1）

观察显著性 p 值可知：亲人是否有得过高血压、腰围、体重、是否饮酒、饮酒年数、酒精度数加权饮用频率、不吃晚餐会对高血压产生显著的正向影响关系，出生年份会对高血压产生显著的负向影响关系，其他因素并不会对高血压产生显著影响。删去影响不显著的变量，再做一次 logistic 回归，得到:

二元 Logit 回归分析结果汇总

项	回归系数	标准误	*z* 值	Wald χ^2	*p* 值	OR 值	OR 值 95% CI
亲人高血压	0.434	0.109	3.987	15.895	0.000	1.543	1.247 ~ 1.910
腰围	0.051	0.008	6.702	44.918	0.000	1.052	1.037 ~ 1.068
体重	0.019	0.006	3.248	10.550	0.001	1.019	1.007 ~ 1.030
出生年	-0.064	0.005	-14.086	198.408	0.000	0.938	0.929 ~ 0.946
是否饮酒	0.432	0.140	3.088	9.533	0.002	1.540	1.171 ~ 2.027
饮酒年数	0.016	0.008	1.900	3.608	0.057	1.016	1.000 ~ 1.032
不吃晚餐	0.049	0.099	0.491	0.241	0.623	1.050	0.864 ~ 1.275
度数加权饮用频率	0.002	0.001	2.315	5.359	0.021	1.002	1.000 ~ 1.004
截距	117.263	9.098	12.888	166.105	0.000	8.445859686979003e+50	1.520565658280882e+43 ~ 4.6911848537197707e+58

因变量: 高血压

McFadden *R* 方: 0.172

图 6: 高血压数据第二次 *logistic* 回归结果

通过二次 logit 回归数据总结得：

$$\begin{aligned}\ln(\frac{P(\text{得高血压})}{1-P(\text{得高血压})}) =& 117.263 + 0.434 * \text{亲人是否得过高血压} + 0.051 * \text{腰围} \\ &+ 0.019 * \text{体重} - 0.064 * \text{出生年} + 0.432 * \text{是否饮酒} \\ &+ 0.016 * \text{饮酒年数} + 0.049 * \text{不吃晚餐} + 0.002 * \text{酒精度数加权饮酒频率}\end{aligned}$$

6.2.2 糖尿病（占比 2.9%）

首先考虑所有可能有关变量，得到 logistic 回归数据（详见附录 3.2）。

观察显著性 p 值可知：腰围、烹调油盐、腌制品、亲人是否得过糖尿病会对糖尿病产生显著的正向影响关系，出生年、臀围、谷薯类食物会对糖尿病产生显著的负向影响关系，其他因素并不会对糖尿病产生显著影响。此外，由于臀围与实际情况过于不符，故删去。删去影响不显著的变量，再做一次 logistic 回归，得到：

二元 Logit 回归分析结果汇总

项	回归系数	标准误	*z* 值	Wald χ^2	*p* 值	OR 值	OR 值 95% CI
出生年	-0.056	0.005	-10.422	108.624	0.000	0.945	0.935 ~ 0.955
腰围	0.066	0.007	9.751	95.073	0.000	1.068	1.054 ~ 1.082
谷薯类	-0.002	0.001	-2.689	7.230	0.007	0.998	0.997 ~ 1.000
腌制品	0.002	0.002	0.854	0.729	0.393	1.002	0.997 ~ 1.007
烹调油盐	0.003	0.002	1.670	2.787	0.095	1.003	1.000 ~ 1.006
亲人糖尿病	0.896	0.164	5.477	30.003	0.000	2.450	1.778 ~ 3.377
截距	101.760	10.670	9.537	90.958	0.000	1.5624205262139528e+44	1.2931172885651838e+35 ~ 1.8878085710564922e+53

因变量: 糖尿病

McFadden *R* 方: 0.143

Cox & Snell *R* 方：null

Nagelkerke *R* 方：null

图 7: 糖尿病数据第二次 *logistic* 回归结果

通过二次 logit 回归数据总结得：

$$\ln(\frac{P(\text{得糖尿病})}{1-P(\text{得糖尿病})}) = 101.760 - 0.056 * \text{出生年} + 0.066 * \text{腰围} - 0.002 * \text{谷薯类} + 0.002 * \text{腌制品} + 0.003 * \text{烹调油盐} + 0.896 * \text{亲人糖尿病}$$

6.2.3 高血脂（占比 32.9%）

由上同理，我们可知：腰围, 体重, 是否饮酒会对高血脂产生显著的正向影响关系，以及出生年, 性别, 身高, 工作主要属于以下何种活动会对高血脂产生显著的负向影响关系。其他因素印象较小。二次处理，得到：

$$\ln(\frac{P(\text{得高血脂})}{1-P(\text{得高血脂})}) = 32.191 - 0.017 * \text{出生年} + 0.056 * \text{腰围} - 0.866 * \text{性别} + 0.012 * \text{体重} - 0.021 * \text{身高} - 0.139 * \text{工作主要属于以下何种活动} + 0.105 * \text{是否饮酒}$$

6.2.4 高尿酸血症（占比 8.4%）

出生年, 腰围会对高尿酸血症产生显著的正向影响关系，以及性别, 您做休闲、家务活动的强度, 烹调油盐会对高尿酸血症产生显著的负向影响关系。

$$\ln(\frac{P(\text{得高尿酸血症})}{1-P(\text{得高尿酸血症})}) = -26.727 + 0.011 * \text{出生年} + 0.060 * \text{腰围} - 1.688 * \text{性别} - 0.307 * \text{您做休闲、家务活动的强度} - 0.006 * \text{烹调油盐}$$

7 问题四的建模与求解

7.1 居民分类

根据问题一与问题三的结论，我们可以将人群大致分为以下几类：

7.1.1 慢性病患者

患有一种或多种下列慢性疾病：

1. 高血压：收缩压 $\geq$140mmHg 并且舒张压 $\geq$90mmHg

2. 糖尿病：空腹血糖 $\geq$ 7.0 mmol/L

3. 高血脂：总胆固醇 $\geq$ 6.2mmol/L 或者高密度脂蛋白 $<$ 1.0 mmol/L 或者低密度脂蛋白 $\geq$ 24.1 mmol/L 或者总甘油三酯 $\geq$ 2.3mmol/L

4. 高尿酸血症：血尿酸 $\geq$ 420 mol/L

7.1.2 潜在慢性病患者

非慢性病患者，但满足一种或多种下列条件：

1.P(得高血压)>5.2% 为潜在高血压患者

2.P(得糖尿病)>2.9% 为潜在糖尿病（高血糖）患者

3.P(得高血脂)>32.9% 为潜在高血脂患者

4.P(高尿酸血症)>8.4% 为潜在高尿酸血症患者

7.1.3 习惯不合理的健康居民

非上述两类人群，但满足一种或多种下列条件：

1. 吸烟

2. 度数加权饮酒频率 >34.5

3. 问题一中膳食结构违背标准

4. 运动量低于标准

5.BMI 不在标准区间

7.1.4 习惯合理的健康居民

非上述三类人群

7.2 合理建议

7.2.1 患者与潜在患者

1. 高血压：饮食要规律（吃晚饭），控制酒精和脂肪摄入、多加运动（控制体重和腰围）。

2. 糖尿病：少吃油盐以及腌制品，多加锻炼，多吃粗粮。

3. 高血脂：多加锻炼，日常提高运动量（从事高强度工作，控制体重），戒酒。

4. 高尿酸血症：少吃烹调油盐，日常需要多加活动。

7.2.2 健康居民

1. 戒烟，少饮酒。

2. 多加运动（每周运动量达标），控制 BMI（标准区间）。

3. 保持合理的膳食结构（八条准则），多吃新鲜蔬果、奶制品，少吃油盐、腌制品。

4. 足量饮水，保持健康规律的生活习惯和饮食习惯。

8 模型的评价与改进

8.1 二元 logistic 回归模型

（1）模型的优点

1. 模型简单，速度快，适合二分类问题；

2. 简单易于理解，直接看到各个特征的权重；

3. 能容易地更新模型吸收新的数据；

（2）模型的缺点

1. 学习能力较弱，对数据和场景的适应能力有局限性；

2. 容易忽视变量之间的相关性，在强相关的因素下，一些弱相关的因素会被淹没；

3. 不患病和患病居民数量级差距太大，造成样本特征被淹没。

（3）模型的改进

1. 用主成分分析进行数据降维，将几个大类用主成分分析归为部分抽象变量看待。

2. 给慢性病按照病情严重程度分 3 档或者 5 档，增加模型预测能力。

3. 使用 SMOTE（合成少数类过采样技术）分析少数样本并人工合成新样本添加入数据集，以缓解类别不平衡影响的模型输出

8.2 GUIDE 决策树模型

（1）模型的优点

1. 可解释性强，可视化能力强，分类处理一目了然。

2. 通过对不同的自变量进行数值型与类别型的分类，极大地保留了变量本身离散与连续的属性。

（2）模型的缺点

1. 决策树算法对变量之间可能存在的相关性无法阐明，可能会造成与因变量联系较强的相关类型的变量只有一种脱颖而出，因此某些人群的较不明显的属性无法一并体现。

2. 自变量维度过高，决策树算法分类容易省略较多自变量与因变量的相关信息。

（3）模型的改进

对多种自变量之间通过算法进行相关性分析，优化相似类型自变量，降维自变量模型

9 参考文献

[1] 中国居民膳食指南.[中国居民膳食指南解读] 中国居民平衡膳食宝塔（2022）修订和解析.[OL].（2023-8-17）[2023-8-17]. Retrieved from http://dg.cnsoc.org/article/04/RMAbPdrjQ6CGWTwmo62hQg.html

[2] Wikipedia.[Wikipedia]alcoholic drink[OL].（2023-8-17）[2023-8-17]. Retrieved from https://zh.wikipedia.org/wiki/alcoholic drink

[3] The SPSSAU project (2023). SPSSAU. (Version 23.0) [Online Application Software]. Retrieved from https://www.spssau.com.

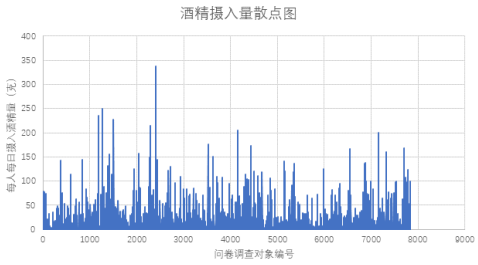
[4] L. Breiman, J. Friedman, R. Olshen, and C. Stone. Classification and Regression Trees. Wadsworth, Belmont, CA, 1984.

[5] T. Hastie, R. Tibshirani and J. Friedman. Elements of Statistical Learning, Springer, 2009.

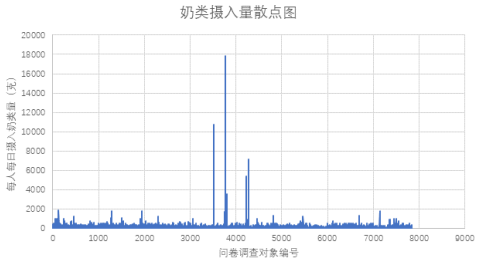
附录

1. 问题一相关图像

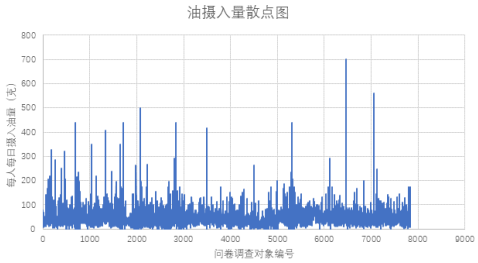
1.1 问题 1-1 定量型膳食标准



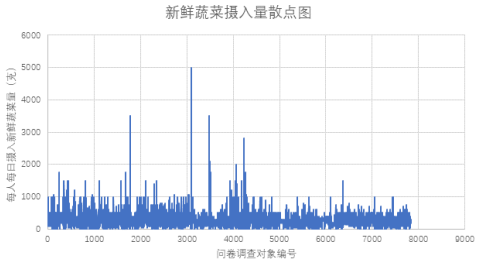
(a) 酒精摄入量散点图



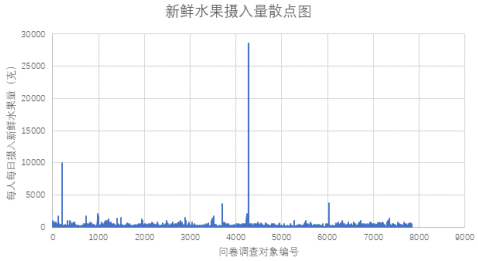
(b) 奶类摄入量散点图



(c) 油类摄入量散点图

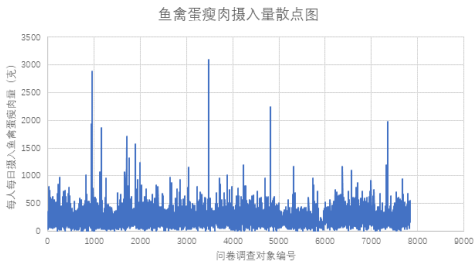


(d) 新鲜蔬菜摄入量散点图



(e) 新鲜水果摄入量散点图

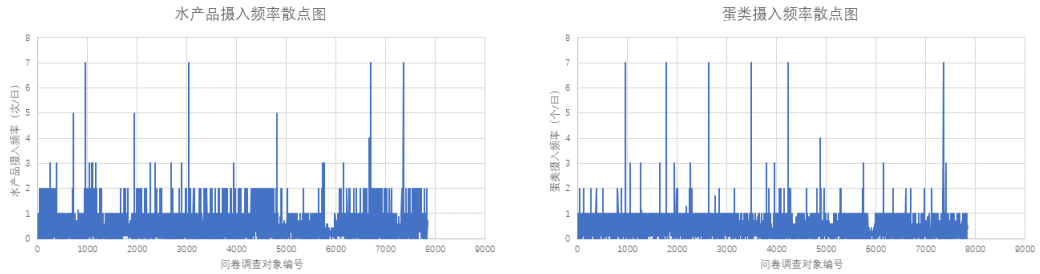
(f) 盐摄入量散点图



(g) 鱼禽蛋瘦肉摄入量散点图

图 8: 定量型膳食标准统计数据散点图

1.2 问题 1-2 非定量型膳食标准



(a) 水产品摄入频率散点图　　(b) 蛋类摄入频率散点图

图 9: 非定量型膳食标准统计数据散点图

2. 问题二相关代码（R）

绘制重要性图像

```
leg.col <- c("red","orange","yellow","green","blue")
leg.txt <- c(expression(phantom() >= "99% confidence"),
"95-99% confidence","90-95% confidence","80-90% confidence",
expression(paste(phantom() < "80% confidence")))
par(las=1,mar=c(4,8,2,2),cex=1)
x <- read.table(file="C:\\Users\\Administrator\\Desktop
    \\2023校内赛\\问题二\\A6\\A6_imp.txt",header=TRUE)
score <- x$Score; vars <- x$Variable; type <- x$Type
barcol <- rep(leg.col[1],length(vars))
barcol[type == "B"] <- leg.col[2]
barcol[type == "C"] <- leg.col[3]
barcol[type == "D"] <- leg.col[4]
barcol[type == "E"] <- leg.col[5]
n <- 20  ### plot only top n important variables ###
barplot(rev(score[1:n]),names.arg=rev(vars[1:n]),
col=rev(barcol[1:n]),horiz=TRUE,xlab="GUIDE importance
    scores")
legend("bottomright",legend=leg.txt,fill=leg.col)
```

生成 dsc.txt 文件

```
z <- read.table("C:\\Users\\Administrator\\Desktop\\2023校内
    赛\\问题二\\A3\\transfered_fill_forrun.csv",
header = TRUE,comment.char = '',encoding="UTF-8",sep=",")
k <- ncol(z)
write("transfered_fill_forrun.csv",file="C:\\Users\\
```

```
    Administrator\\Desktop\\2023校内赛\\问题二\\A3\\dsc_A3.
    txt")
write("NA",file="C:\\Users\\Administrator\\Desktop\\2023校内
    赛\\问题二\\A3\\dsc_A3.txt",append=TRUE)
write("2",file="C:\\Users\\Administrator\\Desktop\\2023校内
    赛\\问题二\\A3\\dsc_A3.txt",append=TRUE)

vartype <- rep('n',k)
vartype[names(z) %in% c('B2','B3','B4','B5','B6','B8','C4','
    C5','C7',
'C8','C10','C11','C16','C17')] <- "x"  #ignorance before
    eating

# first step : cover eating
vartype[61:263] <- "x"

vartype[names(z) %in% c('B1','B7','C1','C3','C6','C9','C12',
    'C15',
'D23','D30','D37','D44','D51','D58','D65','D72','D79','D86',
'D93','D100','D107','D114','D121','D128','D135','D142','D149
    ',
'D156','D163','D170','D1Z77',
'D184','D191','D198','D205',
'E1','E2','E3','E4')] <- "c"
vartype[275:309] <- "x"  # F开头的
vartype[1:8] <- "x"  # A开头的
vartype[names(z) == 'A3'] <- "d"
write.table(cbind(1:k,names(z),vartype),file="C:\\Users\\
    Administrator\\Desktop\\2023校内赛\\问题二\\A3\\dsc_A3.
    txt",
append=TRUE,col.names=FALSE,row.names=FALSE,
quote=FALSE)
```

生成的 dsc.txt 文件需在 guide.exe 中运行，生成 imp.txt 文件详细文件及操作指南见附件代码包.zip

3. 问题三相关图像

3.1 高血压第一次 logistic 回归结果

二元 Logit 回归分析结果汇总

项	回归系数	标准误	*z* 值	Wald χ^2	*p* 值	OR 值	OR 值 95% CI
工作主要属于以下何种活动	0.026	0.148	0.174	0.030	0.862	1.026	0.768 ~ 1.372
亲人高血压	0.543	0.133	4.067	16.543	0.000	1.721	1.325 ~ 2.235
BMI	-0.001	0.007	-0.137	0.019	0.891	0.999	0.986 ~ 1.012
腰围	0.050	0.011	4.511	20.347	0.000	1.051	1.028 ~ 1.074
臀围	-0.002	0.013	-0.159	0.025	0.873	0.998	0.974 ~ 1.023
体重	0.030	0.008	3.589	12.879	0.000	1.031	1.014 ~ 1.048
出生年	-0.074	0.007	-10.489	110.020	0.000	0.929	0.916 ~ 0.942
性别	0.249	0.199	1.251	1.566	0.211	1.283	0.868 ~ 1.895
文化程度	-0.091	0.070	-1.298	1.686	0.194	0.913	0.795 ~ 1.048
婚姻状况	-0.161	0.143	-1.124	1.262	0.261	0.852	0.644 ~ 1.127
是否吸烟	-0.184	0.217	-0.848	0.720	0.396	0.832	0.544 ~ 1.272
烟龄	-0.011	0.010	-1.177	1.385	0.239	0.989	0.970 ~ 1.008
开始吸烟年龄	-0.011	0.017	-0.668	0.446	0.504	0.989	0.957 ~ 1.022
平均每天体育锻炼时间	-0.002	0.003	-0.555	0.308	0.579	0.998	0.993 ~ 1.004
体育锻炼的强度	-0.239	0.216	-1.108	1.227	0.268	0.787	0.516 ~ 1.202
被动吸烟天数	0.013	0.025	0.527	0.278	0.598	1.013	0.965 ~ 1.064
一共吸烟支数	-0.000	0.000	-1.166	1.359	0.244	1.000	1.000 ~ 1.000
是否参加体育锻炼	0.025	0.062	0.400	0.160	0.689	1.025	0.908 ~ 1.157
平均每周吸烟天数	-0.031	0.070	-0.440	0.194	0.660	0.970	0.845 ~ 1.113
休闲、家务活动的强度	-0.067	0.138	-0.488	0.238	0.626	0.935	0.714 ~ 1.225
一天吸烟支数	0.025	0.021	1.152	1.328	0.249	1.025	0.983 ~ 1.069
腌制品	0.002	0.003	0.736	0.542	0.462	1.002	0.997 ~ 1.008
烹调油盐	0.001	0.002	0.649	0.421	0.516	1.001	0.998 ~ 1.004
奶类大豆坚果	-0.001	0.000	-1.147	1.315	0.251	0.999	0.999 ~ 1.000
是否饮酒	0.549	0.176	3.121	9.743	0.002	1.731	1.226 ~ 2.442
动物性食物	-0.000	0.000	-0.236	0.056	0.813	1.000	0.999 ~ 1.001
饮酒年数	0.023	0.011	2.115	4.474	0.034	1.023	1.002 ~ 1.045
新鲜蔬果	-0.000	0.000	-1.317	1.736	0.188	1.000	0.999 ~ 1.000
每周饮用酒精量	-0.000	0.000	-0.841	0.707	0.401	1.000	0.999 ~ 1.001
度数加权每次饮用量	0.000	0.001	0.415	0.172	0.678	1.000	0.999 ~ 1.002
谷薯类	0.001	0.000	1.366	1.867	0.172	1.001	1.000 ~ 1.001
度数加权饮用频率	0.004	0.002	2.624	6.885	0.009	1.004	1.001 ~ 1.008
不吃早餐	-0.008	0.038	-0.224	0.050	0.823	0.992	0.921 ~ 1.068
不吃中餐	-0.372	0.210	-1.770	3.132	0.077	0.689	0.457 ~ 1.041
不吃晚餐	0.358	0.157	2.283	5.210	0.022	1.431	1.052 ~ 1.946
截距	136.275	13.984	9.745	94.969	0.000	1.5260165339126868e+59	1.907804175694916e+47 ~ 1.220631808779127e+71

因变量: 高血压

McFadden *R* 方: 0.202

图 10: 高血压数据第一次 *logistic* 回归结果

3.2 糖尿病第一次 logistic 回归结果

二元 Logit 回归分析结果汇总

项	回归系数	标准误	*z* 值	Wald $\chi 2$	*p* 值	OR 值	OR 值 95% CI
出生年	-0.051	0.009	-6.042	36.509	0.000	0.950	0.934 ~ 0.966
性别	-0.150	0.279	-0.538	0.289	0.591	0.861	0.498 ~ 1.487
是否吸烟	0.633	0.348	1.819	3.308	0.069	1.883	0.952 ~ 3.723
烟龄	-0.005	0.012	-0.423	0.179	0.672	0.995	0.973 ~ 1.018
平均每周吸烟天数	0.174	0.102	1.702	2.897	0.089	1.190	0.974 ~ 1.455
一天吸烟支数	0.035	0.025	1.430	2.044	0.153	1.036	0.987 ~ 1.087
一共吸烟支数	-0.000	0.000	-0.602	0.362	0.547	1.000	1.000 ~ 1.000
被动吸烟天数	0.053	0.031	1.701	2.894	0.089	1.055	0.992 ~ 1.121
是否饮酒	0.390	0.234	1.672	2.795	0.095	1.478	0.935 ~ 2.335
饮酒年数	0.010	0.016	0.635	0.404	0.525	1.010	0.979 ~ 1.042
度数加权饮用频率	-0.000	0.002	-0.060	0.004	0.952	1.000	0.996 ~ 1.004
度数加权每次饮用量	-0.000	0.001	-0.134	0.018	0.893	1.000	0.998 ~ 1.002
每周饮用酒精量	-0.000	0.001	-0.131	0.017	0.896	1.000	0.998 ~ 1.001
所有摄入酒精量	0.000	0.000	1.154	1.331	0.249	1.000	1.000 ~ 1.000
不吃早餐	-0.042	0.046	-0.918	0.842	0.359	0.959	0.876 ~ 1.049
不吃中餐	0.097	0.159	0.611	0.373	0.542	1.102	0.807 ~ 1.504
不吃晚餐	0.070	0.183	0.382	0.146	0.703	1.072	0.749 ~ 1.535
谷薯类	-0.001	0.001	-1.872	3.506	0.061	0.999	0.997 ~ 1.000
新鲜蔬果	-0.000	0.000	-1.113	1.240	0.266	1.000	0.999 ~ 1.000
动物性食物	0.000	0.001	0.272	0.074	0.785	1.000	0.999 ~ 1.001
奶类大豆坚果	-0.001	0.001	-1.210	1.465	0.226	0.999	0.998 ~ 1.000
工作主要属于以下何种活动	-0.202	0.199	-1.017	1.033	0.309	0.817	0.553 ~ 1.206
您做休闲、家务活动的强度	-0.040	0.179	-0.222	0.049	0.824	0.961	0.676 ~ 1.365
是否参加体育锻炼	-0.085	0.086	-0.989	0.978	0.323	0.919	0.777 ~ 1.087
身高	-0.002	0.021	-0.084	0.007	0.933	0.998	0.958 ~ 1.040
体重	-0.007	0.019	-0.376	0.142	0.707	0.993	0.957 ~ 1.030
BMI	0.002	0.026	0.058	0.003	0.953	1.002	0.952 ~ 1.053
腰围	0.103	0.015	6.831	46.662	0.000	1.109	1.077 ~ 1.142
臀围	-0.040	0.012	-3.246	10.534	0.001	0.961	0.937 ~ 0.984
体育锻炼的强度	0.503	0.336	1.497	2.242	0.134	1.653	0.856 ~ 3.192
平均每天体育锻炼时间	0.003	0.004	0.677	0.458	0.498	1.003	0.995 ~ 1.010
烹调油盐	0.004	0.002	2.176	4.737	0.030	1.004	1.000 ~ 1.007
腌制品	0.005	0.003	1.748	3.056	0.080	1.005	0.999 ~ 1.011
截距	90.568	17.099	5.297	28.057	0.000	2.1547643004419326e+39	6.013109184453817e+24 ~ 7.721478270281422e+53

因变量: 糖尿病

McFadden *R* 方: 0.176

Cox & Snell *R* 方：1.000

Nagelkerke *R* 方：1.000

图 11: 糖尿病数据第一次 *logistic* 回归结果

$(F[x], a)$

$\aleph 0$

$\varphi \in \mathrm{Hom}\left((F[x], c), (K^m, J_m)\right), dim\varphi = dim(null(c^T \otimes I_m - I_c \otimes J_m)) \geq \aleph 0$

$$a^T \otimes I_m - I_a \otimes J_m = \begin{pmatrix} a^T & -I_a & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & a^T & -I_a & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & a^T & -I_a & \cdots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \ddots & -I_a & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & a^T & -I_a \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & a^T \end{pmatrix}_{m\aleph 0 \times m\aleph 0}$$

a^T

$\aleph 0 \times \aleph 0$

$\exists\, n \in N,\ st\ a^n \equiv 0$

J_c

$J_a^n \equiv 0$

$$J_c D = \left(\begin{array}{ccccccc:ccc} J_{k_1} & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & J_{k_2} & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ 0 & 0 & J_{k_3} & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & J_{k_n} & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \hdashline 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 & \cdots & 0 \end{array}\right)_{\aleph 0 \times \aleph 0}$$

$0 < k_1, k_2, \cdots, k_n \cdots \leq n$

$\mathrm{Nil}(C)$

$(C, c), (D, d),\ \varphi \in \mathrm{Hom}\left((C, c), (D, d)\right)$

$dim\varphi = dim(null(J_c)) = \aleph 0$

$\forall x \in C, \exists n_x \in N,\ st\ c^{n_x} x \equiv 0$

$dim(F[x]) = \aleph 0$

$a : F[x] \longrightarrow F[x],\ f(x) \longmapsto f^{(k)}(x) \quad (\forall k \in \mathrm{N}_+) \quad ; \quad \forall f \in F[x],\ \exists n_f \in N_+\ st\ a^{n_f} f \equiv 0$

$J_c^{n_f} \equiv 0$

$J_{\aleph 0}$

$(k < \infty)$

J_k

$0_{\aleph 0}$

0_k

$J_{\aleph 0-1}$