1. **研究内容**

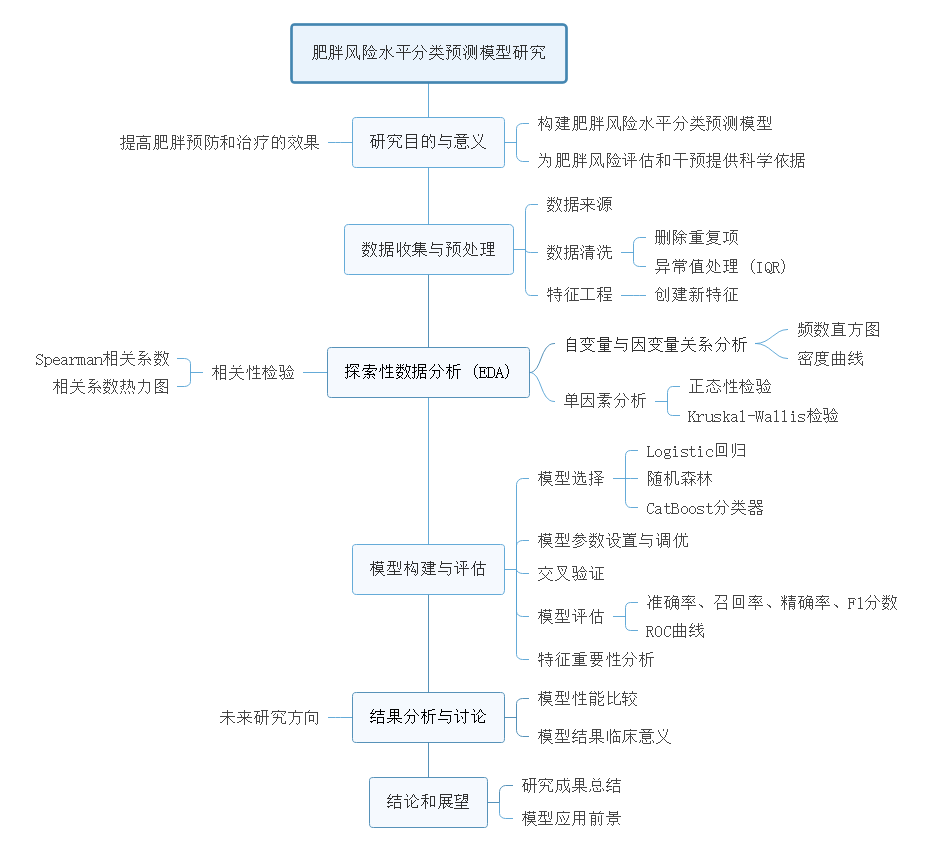
**1.1数据集描述**

表 1 数据变量描述

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **变量名** | **变量类型** | **描述** |
| 性别（Gender） | 分类变量 | 如果受访者是男性，则为1；如果是女性，则为0。（1：男；0：女） |
| 身高（Height） | 连续变量 | 受访者的身高，以厘米为单位 |
| 体重（Weight） | 连续变量 | 受访者的体重，以千克为单位 |
| 年龄（Age） | 连续变量 | 受访者的年龄，以年为单位 |
| 家族肥胖史（family\_history\_with\_overweight） | 分类变量 | 如果受访者有家庭成员现在或过去超重，则为1；如果没有，则为0。（0：无家族肥胖史；1：有） |
| 经常食用高热量食物（FAVC） | 分类变量 | 如果受访者经常食用高热量食物，则为1；如果不是，则为0。（0：不经常食用高热量食物；1：经常食用） |
| 通常食用蔬菜（FCVC） | 分类变量 | 如果受访者在他们的饮食中通常食用蔬菜，则为1；如果不是，则为0。（0：不经常食用蔬菜；1：经常食用） |
| 每日主餐次数（NCP） | 分类变量 | 0表示1-2餐，1表示3餐，2表示超过3餐 |
| 餐间食物摄入（CAEC） | 分类变量 | 受访者在餐间摄入的食物，按0到3的等级来衡量 |
| 吸烟（SMOKE） | 分类变量 | 如果受访者吸烟，则为1；如果不吸烟，则为0 |
| 饮水量（CH2O） | 分类变量 | 受访者每天饮水的量，按1到3的等级来衡量 |
| 监测卡路里摄入（SCC） | 分类变量 | 如果受访者监测他们的卡路里摄入，则为1；如果不监测，则为0 |
| 体力活动量（FAF） | 分类变量 | 受访者进行的体力活动量，按0到3的等级来衡量 |
| 屏幕时间（TUE） | 分类变量 | 受访者每天花在看屏幕设备上的时间，按0到2的等级来衡量 |
| 饮酒频率（CALC） | 分类变量 | 受访者饮酒的频率，按0到3的等级来衡量 |
| 主要交通方式（MTRANS） | 分类变量 | 表示受访者的主要交通方式 |
| NObeeyesdad | 分类变量 | 目标变量，肥胖等级分类：  -体重不足（Insufficient\_Weight）  - 正常体重（Normal\_Weight）  - 肥胖I型（Obesity\_Type\_I）  - 肥胖II型（Obesity\_Type\_II）  - 肥胖III型（Obesity\_Type\_III）  - 超重I级（Overweight\_Level）  - 超重II级（Overweight\_LevelI） |

**1.2研究流程**

图 1 研究开展流程图



本研究针对肥胖问题，通过探索性数据分析（EDA）和相关性检验，构建了一个肥胖风险水平分类预测模型。研究背景和目的在于提供科学依据，为肥胖风险评估和干预提供支持。数据收集和预处理阶段，我们采用了Spearman相关系数和相关数热力图来筛选变量，并通过剔除重复项、清洗异常值以及创建新特征等步骤，对原始数据进行了全面的预处理。在EDA阶段，我们进行了自变量与因变量关系分析，包括频数直方图和密度曲线，以及单因素分析和正态性检验。这些分析帮助我们理解数据的基本分布和潜在模式。

模型选择与评估阶段，我们根据EDA结果选择了Logistic回归作为主要建模方法，并使用了随机森林和CatBoost分类器进行对比实验。为了评估模型的性能，我们进行了交叉验证，并计算了准确率、召回率、精确率和F1分数等指标。未来研究方向包括提高模型的泛化能力、引入更多有意义的相关变量以及探索更好的模型结构。本研究提出了一种基于EDA和统计检验的肥胖风险水平预测模型，通过深入的数据分析和模型选择，我们在一定程度上解决了肥胖风险评估的问题。我们希望我们的研究成果能为公共卫生领域提供有益的参考，帮助人们更好地理解和预防肥胖。

1. **研究方案**
2. **数据预处理**

**1.1数据清洗：删除重复项数据、检查数据是否有缺失**

表 2 数据变量说明

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Column** | **Non-Null** | **Count** | **Dtype** |
| **0** | **Age** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **1** | **Gender** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **2** | **Height** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **3** | **Weight** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **4** | **CALC** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **5** | **FAVC** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **6** | **FCVC** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **7** | **NCP** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **8** | **SCC** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **9** | **SMOKE** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **10** | **CH2O** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **11** | **family\_history\_with\_overweight** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **12** | **FAF** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **13** | **TUE** | **2111** | **non-null** | **float64** |
| **14** | **CAEC** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **15** | **MTRANS** | **2111** | **non-null** | **Object** |
| **16** | **NObeyesdad** | **2111** | **non-null** | **Object** |

本研究数据总共有17个变量其中，数值变量有: ['Age', 'Height', 'Weight', 'FCVC', 'NCP', 'CH2O', 'FAF', 'TUE']分类变量有：['Gender','family\_history\_with\_overweight', 'FAVC','CAEC', 'SMOKE', 'SCC', 'CALC', 'MTRANS','NObeyesdad']数据共有2111例，16个特征和最后的响应变量均不存在空值。进一步探索发现，该数据存在24行重复数据，我们对重复数据项进行删除。

**1.2四分位数法处理异常值**

四分位数法（Interquartile Range, IQR）是统计学中识别异常值的一种方法，主要适用于箱型图的绘制以及数据的初步异常检测[1]。其算法流程如下：

1. 数据排序：首先将数据集按照大小顺序进行排序。
2. 计算四分位数：
3. 计算四分位距（IQR）：四分位距是上四分位数与下四分位数之差，即 IQR = Q3 - Q1。
4. 确定异常值范围：

下限：下限通常为 Q1 - 1.5 \* IQR（有时也会用3倍IQR作为更为严格的异常值界定）。

上限：上限为 Q3 + 1.5 \* IQR。

1. 识别异常值：任何小于下限或大于上限的数据点都会被视为异常值。
2. 处理异常值：由于数据量较大，异常值数目较少，且缺少相关专业知识，所以此处选择直接删除异常值。

异常值处理完成后，数据从2111例样本减少为1376例样本。

数据处理完成后，因变量分布情况如下：

图 2 因变量分布情况

图表, 饼图

描述已自动生成

根据分布饼图可知，因变量中Obesity\_Type\_III的占比最大（23.55%），Insufficient\_Weight占比最小（9.96%）。

**1.3特征工程：创建新的特征，BMI、每日用餐次数、总体育活动得分、年龄分级和每公斤体重的水分摄入量**

本研究在数据预处理阶段，首先保留了原始的连续特征，如身高、体重、年龄等，以保留数据中的重要信息。接着，通过计算BMI（体重指数）、每日用餐次数、总体育活动得分和每公斤体重的水分摄入量等新特征，进一步丰富了数据的信息维度。这些新特征的创建是基于对原始数据的深入分析，旨在捕捉数据中可能被忽视的模式。

在处理年龄特征时，本研究将年龄分为Young、Adult和Elderly三个类别，以简化模型并提高预测的准确性。此外，为了进一步简化模型并提高预测的准确性，本研究还将其他特征转化为分类变量，如将体重和身高换算为BMI指数并分等级，将FCVC（是否经常食用蔬菜）、NCP（每天吃主食的次数0-3）、CH2O（饮水量评分1-3）、FAF（身体活动评分0-3）和TUE（观看电子屏幕次数评分0-2）等评分数据均转化为分类变量。其中，体重指数（BMI）等于Weight/（Height）的平方，用餐次数（Meals\_Per\_Day）等于FCVC+NCP，总体育得分（Total\_Activity\_Score）等于FAF+TUE，每公斤体重的摄水量（Water\_Intake\_Per\_Kg）等于CH2O / Weight

通过这种特征工程的方法，本研究在保留数据信息的同时，保持了模型的可解释性和稳健性。这为肥胖风险水平的分类预测模型提供了坚实的基础，有助于提高模型的预测能力和准确性。

1. **探索性数据分析（EDA）（分析自变量和因变量之间的关系）**

图 3 分类数据对应肥胖类型分布情况

手机屏幕的截图

低可信度描述已自动生成

根据定性的自变量与因变量之间的频数直方图可知：

主要交通方式为公共交通（Public\_Transportation）的样本数目最多，其次是自动单车（Automobile），主要交通工具样本数目最少的是自行车（Bike）；乘坐公共交通工具的数据样本里面肥胖III级（Obesity\_Type\_III）的占比最高，超重II级（Overweight\_LevelI）的样本占比最少，但是步行（Walking）、摩托车（Motorbike）、自行车（Bike）都是正常体重（Normal\_Weight）的占比最大，肥胖样本占比相对较小。因此可以初步判断主要交通方式与体重之间存在一定的关系。

体力活动量为0级的占比最多，随着级数的增加样本数目呈现递减的趋势；随着体力活动级数的增加，正常体重（Normal\_Weight）的占比逐渐增大，肥胖样本的占比逐渐减少。因此可以初步判断，体力活动量与体重之间存在一定的关系。

餐间食物摄入为有时（Sometimes）的样本数目最多，为不摄入（No）的样本数目最少；餐间食物摄入为有时（sometimes）中肥胖I级（Obesity\_Type\_I）的占比最大，偏瘦体重（Insufficient\_Weight）的占比最小；餐间不摄入（No）食物的样本中，体重超重I级（Overweight\_Level）的占比最大。因此暂不能看出餐间食物摄入与体重存在有明显的关系。

饮酒频率（CALC）为有时（Sometimes）的样本数目最多，其中占比最大的是肥胖III级（Obesity\_Type\_III），占比最小的是超重II级（Overweight\_LevelI）；饮酒频率为总是（Always）的样本数目最少，其中正常体重（Normal\_Weight）的占比最大；平时不饮酒（No）中肥胖I级（Obesity\_Type\_I）的占比最大，超重I级（Overweight\_Level）的占比最小；因此暂不能看出饮酒频率是否与体重之间存在明显的关系。

经常食用高热量食物（FAVC）为1的样本数目最多，其中肥胖I级（Obesity\_Type\_I）的占比最大，正常体重（Normal\_Weight）的占比最小；不经常食用高热量食物（0）的样本数目相对较少，其中占比最大的是正常体重（Normal\_Weight），占比最小的是肥胖III级（Obesity\_Type\_III）；因此可以初步认为是否经常食用高热量食物与体重之间存在一定的关系。

吸烟（SMOKE）为No的样本数目最多，其中肥胖I级（Obesity\_Type\_I）的占比最大，偏瘦体重（Insufficient\_Weight）的占比最小；为Yes的样本数目相对较少，其中占比最大的是肥胖II级（Obesity\_Type\_II），占比最小的是偏瘦体重（Insufficient\_Weight），因此暂不能认为是否吸烟与体重之间存在明显的关系。

图 3 连续型数据对应肥胖类型分布情况

图表, 直方图

描述已自动生成

根据连续的自变量与因变量之间的频数堆积条图和密度曲线可知：

身高（Height）的体重堆积条图显示，所有体重分级中身高总体都服从近似正态分布。肥胖等级与身高之间暂不能认为有直接的线性关系。

蔬菜食用（FCVC）的体重堆积条图显示，所有体重分级中蔬菜使用量总体都服从近似正态分布。肥胖等级与蔬菜食用量之间暂不能认为有直接的线性关系。

饮水量（CH2O）的体重堆积条图显示，所有体重分级中饮水量总体都服从近似正态分布。肥胖等级与饮水量之间暂不能认为有直接的线性关系。

1. **单因素分析**

**3.1假设检验**

**3.1.1定量数据与因变量Y体重分级（NObeyesdad）：多个独立样本Kruskal-Wallis检验**

表 3 正态性检验结果

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变量名 | 样本量 | 平均值 | 标准差 | 偏度 | 峰度 | S-W检验 | K-S检验 |
| Water\_Intake\_Per\_Kg | 1376 | 0.024 | 0.01 | 1.265 | 2.501 | 0.919(0.000\*\*\*) | 0.123(0.000\*\*\*) |
| Total\_Activity\_Score | 1376 | 1.726 | 1.066 | 0.573 | 0.153 | 0.967(0.000\*\*\*) | 0.067(0.000\*\*\*) |
| Meals\_Per\_Day | 1376 | 5.429 | 0.568 | -0.503 | -0.666 | 0.861(0.000\*\*\*) | 0.211(0.000\*\*\*) |
| Height | 1376 | 1.714 | 0.087 | -0.038 | -0.367 | 0.996(0.001\*\*\*) | 0.043(0.012\*\*) |
| BMI | 1376 | 31.167 | 8.458 | -0.014 | -1.008 | 0.971(0.000\*\*\*) | 0.06(0.000\*\*\*) |
| CH2O | 1376 | 2.062 | 0.689 | -0.082 | -0.893 | 0.803(0.000\*\*\*) | 0.266(0.000\*\*\*) |
| Weight | 1376 | 92.136 | 27.435 | 0.033 | -0.895 | 0.974(0.000\*\*\*) | 0.089(0.000\*\*\*) |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | |

先对Water\_Intake\_Per\_Kg（每公斤体重的摄水量）、Total\_Activity\_Score（总体育得分）、Meals\_Per\_Day（用餐次数）、Height（身高）、BMI（体重指数）、CH2O（饮水量）、Weight（体重）这七个连续型数据做了正态性检验，因为样本量为1376组属于大样本研究，因此正态性检验方法采用的是S-W检验，以上七个变量都不服从正态分布（显著性P值都>0.05），因此假设检验只能使用多个独立样本Kruskal-Wallis检验。

表 4 Kruskal-Wallis检验分析结果表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分析项 | 分组变量 | 样本量 | 中位数 | 标准差 | 统计量 | P | Cohen's f值 |
| Water\_Intake\_Per\_Kg | Normal\_Weight | 196 | 0.03 | 0.01 | 513.465 | 0.000\*\*\* | 0.05 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 0.026 | 0.008 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 0.022 | 0.007 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 0.025 | 0.006 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 0.018 | 0.004 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 0.038 | 0.013 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 0.02 | 0.005 |
| 总计 | 1376 | 0.023 | 0.01 |
| Total\_Activity\_Score | Normal\_Weight | 196 | 2 | 1.236 | 111.453 | 0.000\*\*\* | 0.022 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1.596 | 0.91 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1.625 | 1.265 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1.962 | 1.049 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1.518 | 0.617 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 2.068 | 1.028 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1.001 | 0.939 |
| 总计 | 1376 | 1.675 | 1.066 |
| Meals\_Per\_Day | Normal\_Weight | 196 | 5 | 0.604 | 556.851 | 0.000\*\*\* | 0.036 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 5.003 | 0.48 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 5 | 0.481 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 5 | 0.544 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 5.228 | 0.46 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 5.721 | 0.602 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 6 | 0 |
| 总计 | 1376 | 5.443 | 0.568 |
| Height | Normal\_Weight | 196 | 1.67 | 0.096 | 285.803 | 0.000\*\*\* | 0.03 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1.705 | 0.098 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1.73 | 0.079 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1.706 | 0.081 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1.784 | 0.056 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 1.704 | 0.084 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1.669 | 0.065 |
| 总计 | 1376 | 1.714 | 0.087 |
| BMI | Normal\_Weight | 196 | 22.2 | 1.861 | 1334.252 | 0.000\*\*\* | 0.069 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 25.9 | 0.582 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 32.2 | 1.149 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 28.2 | 0.867 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 36.3 | 1.194 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 17.5 | 0.881 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 41.9 | 2.58 |
| 总计 | 1376 | 31.25 | 8.458 |
| CH2O | Normal\_Weight | 196 | 2 | 0.633 | 69.287 | 0.000\*\*\* | 0.015 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 2 | 0.661 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 2 | 0.762 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 2 | 0.6 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 2 | 0.548 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 2 | 0.654 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 2 | 0.759 |
| 总计 | 1376 | 2 | 0.689 |
| Weight | Normal\_Weight | 196 | 62 | 9.24 | 1197.39 | 0.000\*\*\* | 0.067 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 75 | 8.56 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 96.468 | 9.668 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 82.523 | 7.54 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 119.066 | 6.095 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 50.166 | 5.037 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 112.049 | 15.532 |
| 总计 | 1376 | 90.835 | 27.435 |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | |

上表展示了Kruskal-Wallis检验的结果，包括中位数、统计量与效应量Cohen's f值。  
● 分析每个分析项的P值是否显著(P<0.05)。  
● 若呈显著性，拒绝原假设，说明两组数据之间存在显著性差异，可以根据中位数±标准差的方式对差异进行分析，反之则表明数据不呈现差异性。  
● Cohen's f值： 表示效应量大小，效应量小、中、大的区分临界点分别是：0.1、0.25和0.40。

根据上述七个连续型自变量和因变量NObeeyesdad（肥胖等级分类）之间的Kruskal-Wallis检验结果可知， Water\_Intake\_Per\_Kg（每公斤体重的摄水量）、Total\_Activity\_Score（总体育得分）、Meals\_Per\_Day（用餐次数）、Height（身高）、BMI（体重指数）、CH2O（饮水量）、Weight（体重）都与自变量NObeeyesdad的的七个分级之间的差异都存在统计学意义（P<0.05），即可以认为这十个自变量都是NObeeyesdad分级的影响因素。

表 5 事后多重分析

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 两独立样本 | | 样本量 | | 中位数 | | 统计量 | P | 中位数值差值 | Cohen's d值 |
| 分组项A | 分组项B | 分组项A | 分组项B | 分组项A | 分组项B |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Overweight\_Level\_I | 196 | 148 | 62 | 75 | 4740.5 | 0.000\*\*\* | 13 | 1.397 |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Obesity\_Type\_I | 196 | 194 | 62 | 96.468 | 110.5 | 0.000\*\*\* | 34.468 | 3.63 |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Overweight\_Level\_II | 196 | 165 | 62 | 82.523 | 1852 | 0.000\*\*\* | 20.523 | 2.292 |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Obesity\_Type\_II | 196 | 212 | 62 | 119.066 | 0 | 0.000\*\*\* | 57.066 | 7.154 |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Insufficient\_Weight | 196 | 137 | 62 | 50.166 | 23665 | 0.000\*\*\* | 11.834 | 1.612 |
| Weight\_Normal\_Weight | Weight\_Obesity\_Type\_III | 196 | 324 | 62 | 112.049 | 0 | 0.000\*\*\* | 50.049 | 4.321 |
| Weight\_Overweight\_Level\_I | Weight\_Obesity\_Type\_I | 148 | 194 | 75 | 96.468 | 1310 | 0.000\*\*\* | 21.468 | 2.37 |
| Weight\_Overweight\_Level\_I | Weight\_Overweight\_Level\_II | 148 | 165 | 75 | 82.523 | 6829.5 | 0.000\*\*\* | 7.523 | 0.869 |
| Weight\_Overweight\_Level\_I | Weight\_Obesity\_Type\_II | 148 | 212 | 75 | 119.066 | 0 | 0.000\*\*\* | 44.066 | 5.972 |
| Weight\_Overweight\_Level\_I | Weight\_Insufficient\_Weight | 148 | 137 | 75 | 50.166 | 20162 | 0.000\*\*\* | 24.834 | 3.536 |
| Weight\_Overweight\_Level\_I | Weight\_Obesity\_Type\_III | 148 | 324 | 75 | 112.049 | 0 | 0.000\*\*\* | 37.049 | 3.34 |
| Weight\_Obesity\_Type\_I | Weight\_Overweight\_Level\_II | 194 | 165 | 96.468 | 82.523 | 28233 | 0.000\*\*\* | 13.945 | 1.694 |
| Weight\_Obesity\_Type\_I | Weight\_Obesity\_Type\_II | 194 | 212 | 96.468 | 119.066 | 1553 | 0.000\*\*\* | 22.598 | 2.653 |
| Weight\_Obesity\_Type\_I | Weight\_Insufficient\_Weight | 194 | 137 | 96.468 | 50.166 | 26578 | 0.000\*\*\* | 46.302 | 5.801 |
| Weight\_Obesity\_Type\_I | Weight\_Obesity\_Type\_III | 194 | 324 | 96.468 | 112.049 | 5554 | 0.000\*\*\* | 15.582 | 1.764 |
| Weight\_Overweight\_Level\_II | Weight\_Obesity\_Type\_II | 165 | 212 | 82.523 | 119.066 | 10 | 0.000\*\*\* | 36.543 | 5.331 |
| Weight\_Overweight\_Level\_II | Weight\_Insufficient\_Weight | 165 | 137 | 82.523 | 50.166 | 22600 | 0.000\*\*\* | 32.357 | 4.912 |
| Weight\_Overweight\_Level\_II | Weight\_Obesity\_Type\_III | 165 | 324 | 82.523 | 112.049 | 0 | 0.000\*\*\* | 29.526 | 2.906 |
| Weight\_Obesity\_Type\_II | Weight\_Insufficient\_Weight | 212 | 137 | 119.066 | 50.166 | 29044 | 0.000\*\*\* | 68.9 | 11.943 |
| Weight\_Obesity\_Type\_II | Weight\_Obesity\_Type\_III | 212 | 324 | 119.066 | 112.049 | 36255.5 | 0.551 | 7.017 | 0.223 |
| Weight\_Insufficient\_Weight | Weight\_Obesity\_Type\_III | 137 | 324 | 50.166 | 112.049 | 0 | 0.000\*\*\* | 61.884 | 5.328 |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | | | |

上表展示了对分组变量进行两两独立样本MannWhitney U检验的结果，包括样本数、中位数、统计量与效应量Cohen's d值。  
● 分析每个分析项的P值是否显著(P<0.05)。  
● 若呈显著性，拒绝原假设，说明两组数据之间存在显著性差异，可以根据中位数对差异进行分析，反之则表明数据不呈现差异性。

根据事后多重检验的结果可知，自变量NObeyesdad的7个分级，两两之间的差异都具有统计学意义（P<0.001），自变量NObeyesdad的7个分级两两之间都有不同。

**3.1.2分类数据（年龄分级）与因变量Y体重分级（NObeyesdad）：多个独立样本Kruskal-Wallis检验**

表 6 Kruskal-Wallis检验分析结果表

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分析项 | 分组变量 | 样本量 | 中位数 | 标准差 | 统计量 | P | Cohen's f值 |
| CALC | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.58 | 222.888 | 0.000\*\*\* | 0.027 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.476 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 0 | 0.521 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.617 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0.267 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 1 | 0.5 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1 | 0.056 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.475 |
| Age\_Group | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.29 | 63.112 | 0.000\*\*\* | 0.016 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.181 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1 | 0.199 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.25 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 1 | 0.339 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1 | 0 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.204 |
| MTRANS | Normal\_Weight | 196 | 2 | 1.225 | 83.852 | 0.000\*\*\* | 0.018 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 2 | 1.31 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 2 | 1.082 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 2 | 1.197 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 2 | 1.385 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 2 | 0.883 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 2 | 0.167 |
| 总计 | 1376 | 2 | 1.095 |
| CAEC | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.732 | 269.611 | 0.000\*\*\* | 0.031 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.383 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1 | 0.291 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.323 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0.097 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 1 | 0.567 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1 | 0.056 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.426 |
| SCC | Normal\_Weight | 196 | 0 | 0.31 | 96.099 | 0.000\*\*\* | 0.02 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 0 | 0.35 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 0 | 0.101 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 0 | 0.154 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 0 | 0.069 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 0 | 0.339 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 0 | 0 |
| 总计 | 1376 | 0 | 0.215 |
| FCVC | Normal\_Weight | 196 | 2 | 0.604 | 435.66 | 0.000\*\*\* | 0.033 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 2 | 0.525 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 2 | 0.498 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 2 | 0.522 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 2 | 0.624 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 3 | 0.665 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 3 | 0 |
| 总计 | 1376 | 3 | 0.593 |
| SMOKE | Normal\_Weight | 196 | 0 | 0.198 | 39.871 | 0.000\*\*\* | 0.012 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 0 | 0.082 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 0 | 0.072 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 0 | 0.11 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 0 | 0.257 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 0 | 0.085 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 0 | 0.056 |
| 总计 | 1376 | 0 | 0.144 |
| Gender | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.498 | 616.485 | 0.000\*\*\* | 0.042 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.5 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1 | 0.439 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.461 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 0 | 0.481 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 0 | 0.056 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.5 |
| FAVC | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.445 | 183.264 | 0.000\*\*\* | 0.026 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.274 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1 | 0.187 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.45 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0.152 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 1 | 0.429 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1 | 0.056 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.318 |
| family\_history\_with\_overweight | Normal\_Weight | 196 | 1 | 0.499 | 417.856 | 0.000\*\*\* | 0.041 |
| Overweight\_Level\_I | 148 | 1 | 0.426 |
| Obesity\_Type\_I | 194 | 1 | 0.159 |
| Overweight\_Level\_II | 165 | 1 | 0.215 |
| Obesity\_Type\_II | 212 | 1 | 0 |
| Insufficient\_Weight | 137 | 0 | 0.502 |
| Obesity\_Type\_III | 324 | 1 | 0 |
| 总计 | 1376 | 1 | 0.357 |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | |

根据上述十个自变量与因变量NObeeyesdad之间的Kruskal-Wallis检验结果可知，自变量CALC（饮酒频率）、Age\_Group（年龄分级）、MTRANS（主要交通方式）、CAEC（餐间食物摄入）、SCC（监测卡路里摄入）、FCVC（通常食用蔬菜）、SMOKE（吸烟）、Gender（性别）、FAVC（经常食用高热量食物）、family\_history\_with\_overweight（家族肥胖史）都与因变量NObeeyesdad之间的差异都具有统计学意义（P<0.001），既可以认为这十个自变量都是因变量NObeeyesdad的影响因素[2]。

表 7 事后多重分析

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 两独立样本 | | 样本量 | | 中位数 | | 统计量 | P | 中位数值差值 | Cohen's d值 |
| 分组项A | 分组项B | 分组项A | 分组项B | 分组项A | 分组项B |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | 196 | 148 | 1 | 1 | 11422 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.453 |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | 196 | 194 | 1 | 1 | 10966 | 0.000\*\*\* | 0 | 1.141 |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | 196 | 165 | 1 | 1 | 9694 | 0.000\*\*\* | 0 | 1.013 |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | 196 | 212 | 1 | 1 | 11448 | 0.000\*\*\* | 0 | 1.299 |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | 196 | 137 | 1 | 0 | 14258 | 0.532 | 1 | 0.124 |
| family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 196 | 324 | 1 | 1 | 17496 | 0.000\*\*\* | 0 | 1.467 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | 148 | 194 | 1 | 1 | 11331 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.691 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | 148 | 165 | 1 | 1 | 9914.5 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.566 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | 148 | 212 | 1 | 1 | 11978 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.866 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | 148 | 137 | 1 | 0 | 12920.5 | 0.000\*\*\* | 1 | 0.591 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_I | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 148 | 324 | 1 | 1 | 18306 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.992 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | 194 | 165 | 1 | 1 | 16368.5 | 0.503 | 0 | 0.121 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | 194 | 212 | 1 | 1 | 20034 | 0.038\*\* | 0 | 0.235 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | 194 | 137 | 1 | 0 | 19736.5 | 0.000\*\*\* | 1 | 1.407 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 194 | 324 | 1 | 1 | 30618 | 0.007\*\*\* | 0 | 0.265 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | 165 | 212 | 1 | 1 | 16642 | 0.002\*\*\* | 0 | 0.34 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | 165 | 137 | 1 | 0 | 16529.5 | 0.000\*\*\* | 1 | 1.238 |
| family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 165 | 324 | 1 | 1 | 25434 | 0.000\*\*\* | 0 | 0.388 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | 212 | 137 | 1 | 0 | 21942 | 0.000\*\*\* | 1 | 1.627 |
| family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 212 | 324 | 1 | 1 | 34344 | NaN | 0 |  |
| family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight | family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III | 137 | 324 | 0 | 1 | 10854 | 0.000\*\*\* | 1 | 1.871 |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | | | |

将NObeeyesdad作为分组依据，结合变量family\_history\_with\_overweight（家族肥胖史）为“1”的，进行事后多重检验，除了family\_history\_with\_overweight\_Normal\_Weight和family\_history\_with\_overweight\_Insufficient\_Weight之间（P=0.532>0.05）、family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_I和family\_history\_with\_overweight\_Overweight\_Level\_II之间（P=0.503>0.05）、family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_II和family\_history\_with\_overweight\_Obesity\_Type\_III之间（P为NaN）的差异暂不存在统计学意义之外，其余变量两两之间的差异都具有统计学意义。

**3.2相关性检验（分析自变量与因变量之间的整体的相关性）**

因为因变量为分类数据因此分析自变量和因变量之间的相关性的时候采用spearman相关性分析。

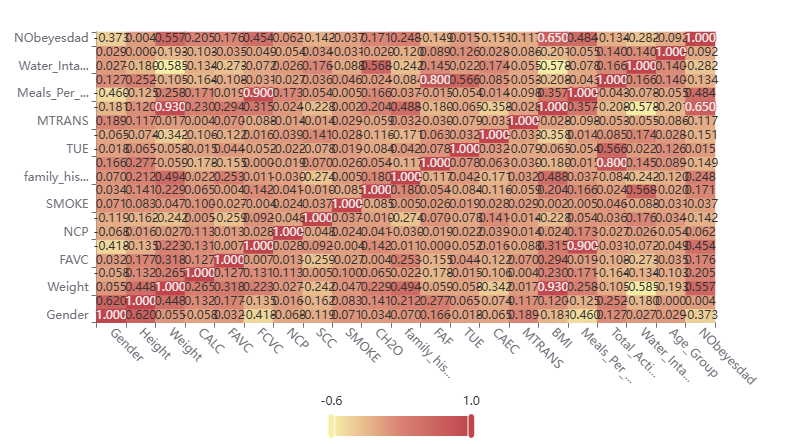
表 8 spearman相关系数表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Gender | Height | Weight | CALC | FAVC | FCVC | NCP | SCC | SMOKE | CH2O | family\_history\_with\_overweight | FAF | TUE | CAEC | MTRANS | BMI | Meals\_Per\_Day | Total\_Activity\_Score | Water\_Intake\_Per\_Kg | Age\_Group | NObeyesdad |
| Gender | 1(0.000\*\*\*) | 0.62(0.000\*\*\*) | 0.055(0.042\*\*) | -0.058(0.030\*\*) | 0.032(0.235) | -0.418(0.000\*\*\*) | -0.068(0.012\*\*) | -0.119(0.000\*\*\*) | 0.071(0.008\*\*\*) | 0.034(0.208) | 0.07(0.009\*\*\*) | 0.166(0.000\*\*\*) | -0.018(0.513) | -0.065(0.017\*\*) | 0.189(0.000\*\*\*) | -0.181(0.000\*\*\*) | -0.46(0.000\*\*\*) | 0.127(0.000\*\*\*) | 0.027(0.317) | 0.029(0.286) | -0.373(0.000\*\*\*) |
| Height | 0.62(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.448(0.000\*\*\*) | 0.132(0.000\*\*\*) | 0.177(0.000\*\*\*) | -0.135(0.000\*\*\*) | 0.016(0.565) | -0.162(0.000\*\*\*) | 0.083(0.002\*\*\*) | 0.141(0.000\*\*\*) | 0.212(0.000\*\*\*) | 0.277(0.000\*\*\*) | 0.065(0.016\*\*) | -0.074(0.006\*\*\*) | 0.117(0.000\*\*\*) | 0.12(0.000\*\*\*) | -0.125(0.000\*\*\*) | 0.252(0.000\*\*\*) | -0.18(0.000\*\*\*) | 0.000(0.990) | 0.004(0.879) |
| Weight | 0.055(0.042\*\*) | 0.448(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.265(0.000\*\*\*) | 0.318(0.000\*\*\*) | 0.223(0.000\*\*\*) | 0.027(0.313) | -0.242(0.000\*\*\*) | 0.047(0.079\*) | 0.229(0.000\*\*\*) | 0.494(0.000\*\*\*) | -0.059(0.029\*\*) | -0.058(0.032\*\*) | -0.342(0.000\*\*\*) | 0.017(0.537) | 0.93(0.000\*\*\*) | 0.258(0.000\*\*\*) | -0.105(0.000\*\*\*) | -0.585(0.000\*\*\*) | -0.193(0.000\*\*\*) | 0.557(0.000\*\*\*) |
| CALC | -0.058(0.030\*\*) | 0.132(0.000\*\*\*) | 0.265(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.127(0.000\*\*\*) | 0.131(0.000\*\*\*) | 0.113(0.000\*\*\*) | 0.005(0.850) | 0.1(0.000\*\*\*) | 0.065(0.016\*\*) | 0.022(0.415) | -0.178(0.000\*\*\*) | -0.015(0.591) | -0.106(0.000\*\*\*) | 0.004(0.892) | 0.23(0.000\*\*\*) | 0.171(0.000\*\*\*) | -0.164(0.000\*\*\*) | -0.134(0.000\*\*\*) | -0.103(0.000\*\*\*) | 0.205(0.000\*\*\*) |
| FAVC | 0.032(0.235) | 0.177(0.000\*\*\*) | 0.318(0.000\*\*\*) | 0.127(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.007(0.798) | 0.013(0.636) | -0.259(0.000\*\*\*) | -0.027(0.318) | 0.004(0.888) | 0.253(0.000\*\*\*) | -0.155(0.000\*\*\*) | 0.044(0.101) | -0.122(0.000\*\*\*) | 0.07(0.009\*\*\*) | 0.294(0.000\*\*\*) | 0.019(0.492) | -0.108(0.000\*\*\*) | -0.273(0.000\*\*\*) | -0.035(0.191) | 0.176(0.000\*\*\*) |
| FCVC | -0.418(0.000\*\*\*) | -0.135(0.000\*\*\*) | 0.223(0.000\*\*\*) | 0.131(0.000\*\*\*) | 0.007(0.798) | 1(0.000\*\*\*) | 0.028(0.292) | 0.092(0.001\*\*\*) | -0.004(0.869) | 0.142(0.000\*\*\*) | 0.011(0.683) | 0.000(0.992) | -0.052(0.054\*) | 0.016(0.558) | -0.088(0.001\*\*\*) | 0.315(0.000\*\*\*) | 0.9(0.000\*\*\*) | -0.031(0.247) | -0.072(0.007\*\*\*) | -0.049(0.069\*) | 0.454(0.000\*\*\*) |
| NCP | -0.068(0.012\*\*) | 0.016(0.565) | 0.027(0.313) | 0.113(0.000\*\*\*) | 0.013(0.636) | 0.028(0.292) | 1(0.000\*\*\*) | -0.048(0.078\*) | 0.024(0.373) | 0.041(0.129) | -0.03(0.258) | -0.019(0.481) | -0.022(0.409) | 0.039(0.146) | -0.014(0.600) | 0.024(0.381) | 0.173(0.000\*\*\*) | -0.027(0.315) | 0.026(0.338) | -0.054(0.044\*\*) | 0.062(0.022\*\*) |
| SCC | -0.119(0.000\*\*\*) | -0.162(0.000\*\*\*) | -0.242(0.000\*\*\*) | 0.005(0.850) | -0.259(0.000\*\*\*) | 0.092(0.001\*\*\*) | -0.048(0.078\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.037(0.166) | -0.01(0.714) | -0.274(0.000\*\*\*) | 0.07(0.009\*\*\*) | -0.078(0.004\*\*\*) | 0.141(0.000\*\*\*) | -0.014(0.606) | -0.228(0.000\*\*\*) | 0.054(0.047\*\*) | 0.036(0.180) | 0.176(0.000\*\*\*) | 0.034(0.203) | -0.142(0.000\*\*\*) |
| SMOKE | 0.071(0.008\*\*\*) | 0.083(0.002\*\*\*) | 0.047(0.079\*) | 0.1(0.000\*\*\*) | -0.027(0.318) | -0.004(0.869) | 0.024(0.373) | 0.037(0.166) | 1(0.000\*\*\*) | -0.085(0.002\*\*\*) | 0.005(0.858) | 0.026(0.336) | 0.019(0.479) | 0.028(0.296) | 0.029(0.276) | 0.002(0.937) | 0.005(0.852) | 0.046(0.086\*) | -0.088(0.001\*\*\*) | -0.031(0.245) | -0.037(0.168) |
| CH2O | 0.034(0.208) | 0.141(0.000\*\*\*) | 0.229(0.000\*\*\*) | 0.065(0.016\*\*) | 0.004(0.888) | 0.142(0.000\*\*\*) | 0.041(0.129) | -0.01(0.714) | -0.085(0.002\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.18(0.000\*\*\*) | 0.054(0.044\*\*) | -0.084(0.002\*\*\*) | -0.116(0.000\*\*\*) | -0.059(0.027\*\*) | 0.204(0.000\*\*\*) | 0.166(0.000\*\*\*) | 0.024(0.373) | 0.568(0.000\*\*\*) | -0.02(0.452) | 0.171(0.000\*\*\*) |
| family\_history\_with\_overweight | 0.07(0.009\*\*\*) | 0.212(0.000\*\*\*) | 0.494(0.000\*\*\*) | 0.022(0.415) | 0.253(0.000\*\*\*) | 0.011(0.683) | -0.03(0.258) | -0.274(0.000\*\*\*) | 0.005(0.858) | 0.18(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | -0.117(0.000\*\*\*) | 0.042(0.116) | -0.171(0.000\*\*\*) | 0.032(0.232) | 0.488(0.000\*\*\*) | 0.037(0.176) | -0.084(0.002\*\*\*) | -0.242(0.000\*\*\*) | -0.12(0.000\*\*\*) | 0.248(0.000\*\*\*) |
| FAF | 0.166(0.000\*\*\*) | 0.277(0.000\*\*\*) | -0.059(0.029\*\*) | -0.178(0.000\*\*\*) | -0.155(0.000\*\*\*) | 0.000(0.992) | -0.019(0.481) | 0.07(0.009\*\*\*) | 0.026(0.336) | 0.054(0.044\*\*) | -0.117(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.078(0.004\*\*\*) | 0.063(0.019\*\*) | -0.03(0.268) | -0.18(0.000\*\*\*) | -0.015(0.576) | 0.8(0.000\*\*\*) | 0.145(0.000\*\*\*) | 0.089(0.001\*\*\*) | -0.149(0.000\*\*\*) |
| TUE | -0.018(0.513) | 0.065(0.016\*\*) | -0.058(0.032\*\*) | -0.015(0.591) | 0.044(0.101) | -0.052(0.054\*) | -0.022(0.409) | -0.078(0.004\*\*\*) | 0.019(0.479) | -0.084(0.002\*\*\*) | 0.042(0.116) | 0.078(0.004\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.032(0.231) | -0.079(0.003\*\*\*) | -0.065(0.016\*\*) | -0.054(0.043\*\*) | 0.566(0.000\*\*\*) | 0.022(0.419) | 0.126(0.000\*\*\*) | 0.015(0.574) |
| CAEC | -0.065(0.017\*\*) | -0.074(0.006\*\*\*) | -0.342(0.000\*\*\*) | -0.106(0.000\*\*\*) | -0.122(0.000\*\*\*) | 0.016(0.558) | 0.039(0.146) | 0.141(0.000\*\*\*) | 0.028(0.296) | -0.116(0.000\*\*\*) | -0.171(0.000\*\*\*) | 0.063(0.019\*\*) | 0.032(0.231) | 1(0.000\*\*\*) | -0.033(0.225) | -0.358(0.000\*\*\*) | 0.014(0.609) | 0.085(0.002\*\*\*) | 0.174(0.000\*\*\*) | 0.028(0.299) | -0.151(0.000\*\*\*) |
| MTRANS | 0.189(0.000\*\*\*) | 0.117(0.000\*\*\*) | 0.017(0.537) | 0.004(0.892) | 0.07(0.009\*\*\*) | -0.088(0.001\*\*\*) | -0.014(0.600) | -0.014(0.606) | 0.029(0.276) | -0.059(0.027\*\*) | 0.032(0.232) | -0.03(0.268) | -0.079(0.003\*\*\*) | -0.033(0.225) | 1(0.000\*\*\*) | -0.028(0.304) | -0.098(0.000\*\*\*) | -0.053(0.049\*\*) | -0.055(0.042\*\*) | -0.086(0.001\*\*\*) | -0.117(0.000\*\*\*) |
| BMI | -0.181(0.000\*\*\*) | 0.12(0.000\*\*\*) | 0.93(0.000\*\*\*) | 0.23(0.000\*\*\*) | 0.294(0.000\*\*\*) | 0.315(0.000\*\*\*) | 0.024(0.381) | -0.228(0.000\*\*\*) | 0.002(0.937) | 0.204(0.000\*\*\*) | 0.488(0.000\*\*\*) | -0.18(0.000\*\*\*) | -0.065(0.016\*\*) | -0.358(0.000\*\*\*) | -0.028(0.304) | 1(0.000\*\*\*) | 0.357(0.000\*\*\*) | -0.208(0.000\*\*\*) | -0.578(0.000\*\*\*) | -0.201(0.000\*\*\*) | 0.65(0.000\*\*\*) |
| Meals\_Per\_Day | -0.46(0.000\*\*\*) | -0.125(0.000\*\*\*) | 0.258(0.000\*\*\*) | 0.171(0.000\*\*\*) | 0.019(0.492) | 0.9(0.000\*\*\*) | 0.173(0.000\*\*\*) | 0.054(0.047\*\*) | 0.005(0.852) | 0.166(0.000\*\*\*) | 0.037(0.176) | -0.015(0.576) | -0.054(0.043\*\*) | 0.014(0.609) | -0.098(0.000\*\*\*) | 0.357(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | -0.043(0.112) | -0.078(0.004\*\*\*) | -0.055(0.042\*\*) | 0.484(0.000\*\*\*) |
| Total\_Activity\_Score | 0.127(0.000\*\*\*) | 0.252(0.000\*\*\*) | -0.105(0.000\*\*\*) | -0.164(0.000\*\*\*) | -0.108(0.000\*\*\*) | -0.031(0.247) | -0.027(0.315) | 0.036(0.180) | 0.046(0.086\*) | 0.024(0.373) | -0.084(0.002\*\*\*) | 0.8(0.000\*\*\*) | 0.566(0.000\*\*\*) | 0.085(0.002\*\*\*) | -0.053(0.049\*\*) | -0.208(0.000\*\*\*) | -0.043(0.112) | 1(0.000\*\*\*) | 0.166(0.000\*\*\*) | 0.14(0.000\*\*\*) | -0.134(0.000\*\*\*) |
| Water\_Intake\_Per\_Kg | 0.027(0.317) | -0.18(0.000\*\*\*) | -0.585(0.000\*\*\*) | -0.134(0.000\*\*\*) | -0.273(0.000\*\*\*) | -0.072(0.007\*\*\*) | 0.026(0.338) | 0.176(0.000\*\*\*) | -0.088(0.001\*\*\*) | 0.568(0.000\*\*\*) | -0.242(0.000\*\*\*) | 0.145(0.000\*\*\*) | 0.022(0.419) | 0.174(0.000\*\*\*) | -0.055(0.042\*\*) | -0.578(0.000\*\*\*) | -0.078(0.004\*\*\*) | 0.166(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | 0.14(0.000\*\*\*) | -0.282(0.000\*\*\*) |
| Age\_Group | 0.029(0.286) | 0.000(0.990) | -0.193(0.000\*\*\*) | -0.103(0.000\*\*\*) | -0.035(0.191) | -0.049(0.069\*) | -0.054(0.044\*\*) | 0.034(0.203) | -0.031(0.245) | -0.02(0.452) | -0.12(0.000\*\*\*) | 0.089(0.001\*\*\*) | 0.126(0.000\*\*\*) | 0.028(0.299) | -0.086(0.001\*\*\*) | -0.201(0.000\*\*\*) | -0.055(0.042\*\*) | 0.14(0.000\*\*\*) | 0.14(0.000\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) | -0.092(0.001\*\*\*) |
| NObeyesdad | -0.373(0.000\*\*\*) | 0.004(0.879) | 0.557(0.000\*\*\*) | 0.205(0.000\*\*\*) | 0.176(0.000\*\*\*) | 0.454(0.000\*\*\*) | 0.062(0.022\*\*) | -0.142(0.000\*\*\*) | -0.037(0.168) | 0.171(0.000\*\*\*) | 0.248(0.000\*\*\*) | -0.149(0.000\*\*\*) | 0.015(0.574) | -0.151(0.000\*\*\*) | -0.117(0.000\*\*\*) | 0.65(0.000\*\*\*) | 0.484(0.000\*\*\*) | -0.134(0.000\*\*\*) | -0.282(0.000\*\*\*) | -0.092(0.001\*\*\*) | 1(0.000\*\*\*) |
| 注：\*\*\*、\*\*、\*分别代表1%、5%、10%的显著性水平 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

上表展示了模型检验的参数结果表，包括了相关系数、显著性P值。  
1. 先对XY之间是否存在统计上的显著性关系进行检验，判断P值是否呈现显著性(P<0.05)。  
2. 若呈现显著性，则说明两变量之间存在相关性，反之，则两变量之间不存在相关性。  
3. 分析相关系数的正负向以及相关性程度。

根据上述自变量和因变量之间的spearman检验结果可知，因变量NObeyesdad与自变量Gender、Weight、CALC、FAVC、FCVC、NCP、SCC、CH2O、family\_history\_with\_overweight、FAF、CAEC、MTRANS、BMI、Meals\_Per\_Day、Total\_Activity\_Score、Water\_Intake\_Per\_Kg 、Age\_Group这17个自变量之间存在明显的相关性（P<0.05），但是与自变量Height、SMOKE、TUE这3个自变量之间咱没有明显的相关性（P>0.05）；其中，因变量NObeyesdad与Weight、CALC、FAVC、FCVC、NCP、family\_history\_with\_overweight、FAF、BMI、Meals\_Per\_Day这九个自变量之间是正相关（相关系数r>0），与Gender、SCC、CH2O、CAEC、MTRANS、Total\_Activity\_Score、Water\_Intake\_Per\_Kg 、Age\_Group这八个自变量之间是负相关（相关系数r<0）。

图 4 各变量之间相关系数热力图

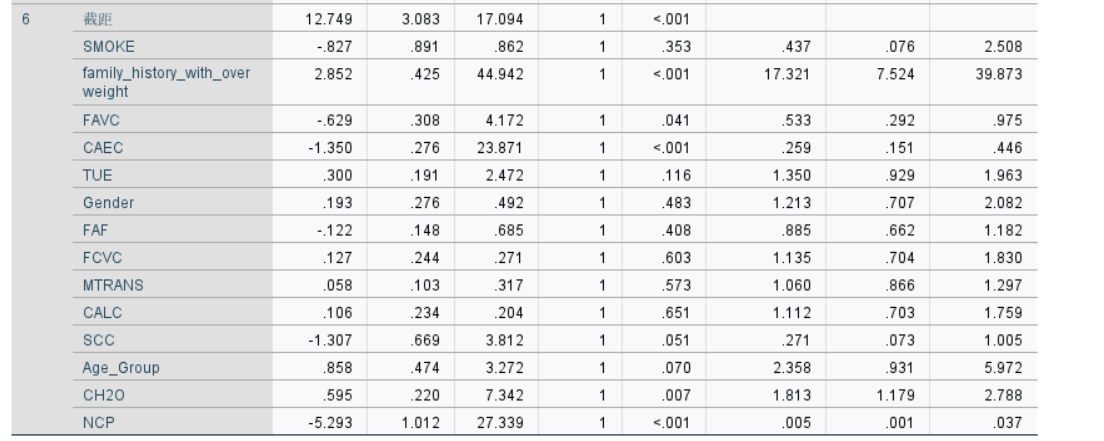


根据各变量之间的相关系数热图可知，因变量NObeyesdad与自变量Gender（R=-0.373）、Weight（R=0.557）、CALC（R=0.205）、FAVC（R=0.176）、FCVC（R=0.454）、NCP（R=0.062）、SCC（R=0.142）、CH2O（R=0.171）、family\_history\_with\_overweight（R=0.248）、FAF（R=0.149）、CAEC（R=0.154）、MTRANS（R=0.117）、BMI（R=0.650）、Meals\_Per\_Day（R=0.484）、Total\_Activity\_Score（R=0.134）、Water\_Intake\_Per\_Kg（R=0.282） 、Age\_Group（R=0.092）这17个自变量之间存在明显的相关性。

1. **模型构建**

**模型一：采用Logistic逻辑回归，建立逻辑回归方程，算出模型拟合优度，算出OR值及其95%置信区间**

图 5 Logistic回归参数估计值

****

根据采用多元逐步向前逻辑回归回归，最终发现与因变量之间的差异具有统计学意义的变量有family\_history\_with\_overweight（P<0.001），FAVC（P=0.041<0,05），CAEC（P<0.001），CH2O（P=0.007<0.05），NCP（P<0.001）这四个自变量与因变量之间存在相关性（P<0.05），即这两个因素都是心肌炎的危险因素，Logistic回归方程为：

校正其他7个因素后，有家族肥胖史的人患肥胖的风险是没有家族肥胖史的人的17.321倍；经常食用高热量食物每增高一级患肥胖的分险就增加0.533倍；餐间食物摄入每增高一级患肥胖的分险就增加0.259倍；饮水量每增高一级患肥胖的分险就增加1.813倍；餐间食物摄入每增高一级患肥胖的分险就增加0.259倍；每日主餐次数每增多一次患肥胖的分险就增加0.005倍；餐间食物摄入每增高一级患肥胖的分险就增加0.259倍；吸烟的人患肥胖是不吸烟人的0.437倍；屏幕使用时间每增高一级患肥胖的分险就增加1.35倍；男性比女性的患肥胖的概率会增加1.213倍；体力活动量每增高一级患肥胖的分险就增加0.885倍；通常食用蔬菜每增高一级患肥胖的分险就增加1.135倍；饮酒的人患肥胖是不饮酒人的1.112倍；监测卡路里的人患肥胖是不监测卡路里的0.271倍；年龄分级每增高一级患肥胖的分险就增加0.005倍。

图 6 模型拟合优度

****

根据多元Logistic回归模型拟合优度检验可知，该模型的-2自然对数为5246.252，拟合优度皮尔逊卡方值为29976.989，显著性P值小于0.001，因此该模型的拟合优度情况较好[3]。

表 9 Logistic逻辑回归模型参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名 | 参数值 |
| 数据切分 | 0.7 |
| 交叉验证 | 5 |
| 正则化 | none |
| 设置常数项 | true |
| 误差收敛条件 | 0.001 |
| 最大迭代次数 | 1000 |

本研究Logistic逻辑回归模型的参数如上表所示，数据切分比例为0.7，将数据切分为训练集和验证集，模型训练过程中进行五折交叉验证，误差收敛条件设置为0.001，最大迭代次数设置为1000，以调整到模型的最佳预测效率。

图 7 Logistic逻辑回归混淆矩阵热力图



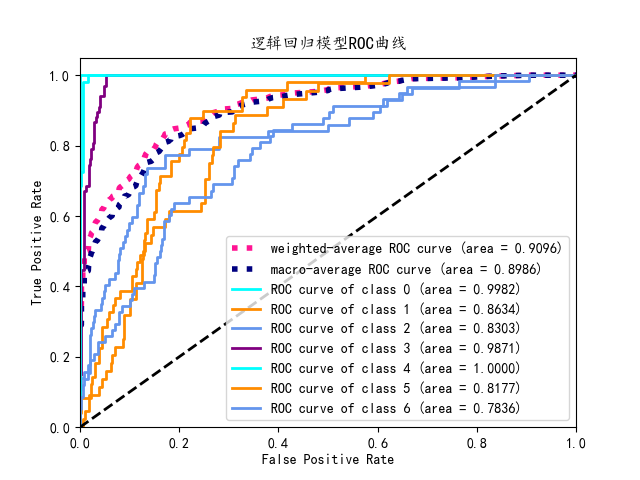
从混淆矩阵可以看出，该分类器在预测“正常体重”和“超重”方面表现良好，但在预测“肥胖\_I型”、“肥胖\_II型”和“体重偏瘦”方面的准确性较低。特别是对于“肥胖\_I型”，其假反例数高达56人，表明该类别存在严重的误判问题。这可能意味着需要进一步调整模型或收集更多相关数据来提高其性能。

表 10 Logistic逻辑回归模型评估结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 准确率 | 召回率 | 精确率 | F1 |
| 训练集 | 0.95 | 0.95 | 0.951 | 0.95 |
| 交叉验证集 | 0.908 | 0.908 | 0.909 | 0.906 |
| 测试集 | 0.908 | 0.908 | 0.911 | 0.908 |

本研究的模型评估结果如上图所示，该模型的准确率、召回率、精确率、F1分数都在90%以上；训练集的准确率、召回率、F1分数更是高达95%，准确率达95.1%。

图 8 Logistic逻辑回归模型的ROC曲线



根据绘制出的ROC曲线可知，体重不足（Insufficient\_Weight）类别的曲线下面积达0.9982，正常体重（Normal\_Weight）类别的曲线下面积达0.8634，肥胖I型（Obesity\_Type\_I）类别的曲线下面积达0.8303，肥胖II型（Obesity\_Type\_II）类别的曲线下面积达0.9871，肥胖III型（Obesity\_Type\_III）类别的曲线下面积达1.000，超重I级（Overweight\_Level）类别的曲线下面积达0.8177，超重II级（Overweight\_LevelI）类别的曲线下面积达0.7836；各类别的预测准确率不一，肥胖III型的准确率最高达到了100%，超重II级的准确率相对而言最低。

**模型二：使用随机森林分类算法构建模型**

表 11 随机森林模型参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名 | 参数值 |
| 数据切分 | 0.7 |
| 交叉验证 | 5 |
| 节点分裂评价准则 | gini |
| 决策树数量 | 100 |
| 有放回采样 | true |
| 划分时考虑的最大特征比例 | auto |
| 内部节点分裂的最小样本数 | 2 |
| 叶子节点的最小样本数 | 1 |
| 叶子节点中样本的最小权重 | 0 |
| 树的最大深度 | 10 |
| 叶子节点的最大数量 | 50 |
| 节点划分不纯度的阀值 | 0 |

随机森林模型作为一种高效的机器学习算法，以其强大的预测能力和稳健性而著称[4]。在本研究中，我们构建的随机森林模型采用了0.7的数据切分比例，即70%的数据用于模型训练，而剩余的30%用于测试，确保了模型在未知数据上的泛化能力。此外，通过实施5次交叉验证，我们进一步增强了模型评估的准确性和可靠性，这种方法通过将数据集等分，轮流使用其中一份作为测试集，其余作为训练集，从而在不同数据子集上评估模型性能。

在节点分裂的评价标准上，我们选择了Gini指数作为衡量标准，这一指标有效量化了节点的不纯度，指导我们选择最优的分裂点，以期达到更准确的分类效果。模型中决策树的数量设定为100，这一数量既能保证模型具有足够的多样性，又能在计算效率和预测精度之间取得平衡。有放回采样作为随机森林的核心机制，通过从原始数据集中重复抽取样本来构建每棵决策树，从而提升了模型的鲁棒性。

为了进一步优化模型，我们采用了自动调整的最大特征比例，使算法能够根据数据集的特征数量智能选择特征子集，这有助于在增加模型复杂度的同时避免过拟合。内部节点分裂的最小样本数设定为2，这一设置有助于模型避免对个别样本的过度依赖，而叶子节点的最小样本数则设定为1，保证了模型在细节上的区分能力。

在控制模型复杂度方面，我们将树的最大深度限制在10，这有助于防止模型过度拟合到训练数据。同时，叶子节点的最大数量设定为50，进一步限制了模型的复杂性，确保了模型在保持预测精度的同时，不会因过于复杂的结构而影响其泛化能力。

表 12 随机森林特征重要性

|  |  |
| --- | --- |
| 特征名称 | 特征重要性 |
| Gender | 5.70% |
| Height | 6.10% |
| Weight | 24.00% |
| CALC | 1.80% |
| FAVC | 1.00% |
| FCVC | 1.80% |
| NCP | 0.20% |
| SCC | 0.30% |
| SMOKE | 0.00% |
| CH2O | 1.20% |
| family\_history\_with\_overweight | 1.90% |
| FAF | 0.90% |
| TUE | 1.00% |
| CAEC | 1.40% |
| MTRANS | 0.60% |
| BMI | 35.40% |
| Meals\_Per\_Day | 8.10% |
| Total\_Activity\_Score | 2.50% |
| Water\_Intake\_Per\_Kg | 6.00% |
| Age\_Group | 0.20% |

图 9 随机森林特征重要性条形图

图形用户界面

中度可信度描述已自动生成

在本研究中，通过随机森林模型对特征重要性进行了深入分析，结果揭示了不同因素在肥胖预测中的作用和影响力。体重（Weight）以24.00%的重要性位居榜首，凸显了其在肥胖评估中的核心地位。紧随其后的是身体质量指数（BMI），其35.40%的重要性进一步印证了BMI作为评估肥胖及其相关健康风险的关键指标。

饮食因素，包括每日餐次（Meals\_Per\_Day）和每公斤体重的水分摄入量（Water\_Intake\_Per\_Kg），分别以8.10%和6.00%的重要性表明饮食习惯对肥胖的影响不容忽视。性别（Gender）的重要性为5.70%，而年龄组（Age\_Group）的重要性相对较低，仅为0.20%，这可能表明性别在肥胖预测中的作用更为显著。

身高（Height）的重要性为6.10%，虽然不及体重和BMI，但也是肥胖评估中不可忽视的一个因素。其他生理和生活习惯因素，如CALC、FAVC、FCVC、NCP、SCC、SMOKE、CH2O、family\_history\_with\_overweight、FAF、TUE、CAEC和MTRANS，它们的重要性分布在0.20%到2.50%之间，表明这些因素虽然对肥胖的预测有一定贡献，但相对较小。

身体活动水平（Total\_ActivityScore）的重要性为2.50%，表明虽然身体活动对肥胖的影响相对较小，但仍是一个值得考虑的因素。值得注意的是，吸烟（SMOKE）的重要性为0.00%，这可能意味着在本研究的数据集中，吸烟习惯与肥胖的关联性非常弱或没有显著影响。

表 13 随机森林模型评估结果

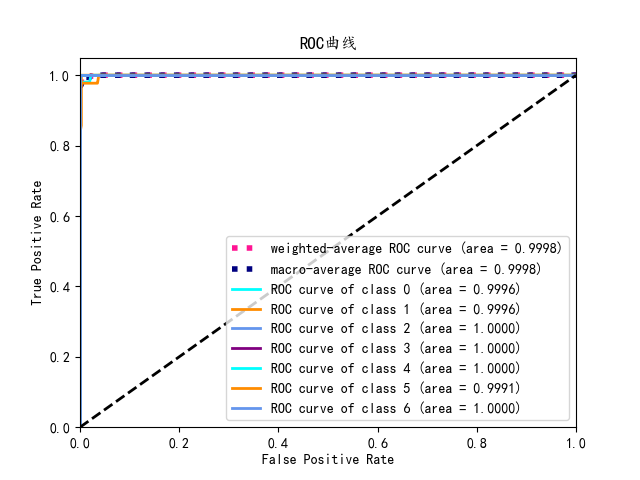
|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 准确率 | 召回率 | 精确率 | F1 |
| 训练集 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 交叉验证集 | 0.988 | 0.988 | 0.988 | 0.988 |
| 测试集 | 0.983 | 0.983 | 0.983 | 0.983 |

在本研究中，随机森林模型的评估结果表现卓越，其各项性能指标均达到了高标准。具体而言，模型在训练集上实现了完美的准确率，显示出算法对训练数据的精确拟合。在更为关键的交叉验证集和测试集上，准确率分别高达98.8%和98.3%，这不仅验证了模型的泛化能力，也表明其能够稳定地应用于新的数据集。

召回率的高值（0.988）进一步强化了模型在识别正类样本方面的高效性，意味着模型具备了捕捉关键信息的能力。与此同时，精确率的一致性高表现（0.988）减少了误报的可能性，这对于实际应用中的决策支持尤为关键。

F1分数，作为精确率和召回率的调和平均，同样在所有数据集上达到了0.988的优异水平。这一指标的平衡性高表现，凸显了模型在精确度和全面性上的双重优势。

图 10 随机森林ROC曲线

****

在本研究中，随机森林模型的ROC曲线分析揭示了其卓越的分类性能。ROC曲线下面积（AUC）是一个关键指标，用于衡量模型在区分不同类别方面的有效性[5]。在所分析的模型中，加权平均和宏观平均ROC曲线均展现出了极高的AUC值，分别为0.9998，这一结果表明模型在整体上具有极高的分类准确性。

进一步观察各个类别的ROC曲线，我们发现类别2、3、4和6的AUC值达到了完美的1.0000，这意味着在这些类别上，模型能够以极高的精确度区分正例和负例，几乎没有误判。对于类别1和类别5，尽管AUC值略低，分别为0.9996和0.9991，但它们仍然非常接近完美，显示出模型在这些类别上仍然具有非常高的分类能力。

ROC曲线的形态也为我们提供了洞察。曲线紧密贴合左上角，表明模型在假正率较低的情况下能够实现高召回率，这是理想分类器的特征。此外，曲线的平滑过渡进一步证实了模型在不同阈值设置下保持了一致的分类性能。

综合这些结果，我们可以得出结论，随机森林模型在本研究中表现出了卓越的分类性能，其高AUC值和ROC曲线的紧密贴合为我们提供了模型稳健性和准确性的有力证据。这些发现对于评估模型的临床应用潜力具有重要意义，并为未来的研究和实践提供了坚实的基础。

**模型三：使用CatBoost分类器构建另一个模型，并同样进行了参数调优。**

表 14 CatBoost模型参数

|  |  |
| --- | --- |
| 参数名 | 参数值 |
| 数据切分 | 0.7 |
| 数据洗牌 | 是 |
| 交叉验证 | 5 |
| 迭代次数 | 100 |
| 学习率 | 0.1 |
| L2正则项 | 1 |
| 树的最大深度 | 10 |
| 达成优化以后继续迭代的次数 | 20 |

在本项研究中，我们采用了CatBoost算法，一种先进的梯度提升框架[6]，其参数经过精心调优以实现最优性能。数据切分比例设定为0.7，确保了70%的数据用于模型训练，而剩余的30%用于验证，这一策略为评估模型的泛化能力提供了坚实的基础。数据洗牌的启用进一步增强了模型对数据随机性的适应性，从而提高了其泛化能力。

交叉验证设置为5折，这一方法通过在不同的数据子集上重复训练和验证过程，有效地评估了模型的稳定性和泛化性。迭代次数设定为100，这一数值为模型提供了充足的优化空间，以捕捉数据中的复杂模式，同时避免了过拟合的风险。

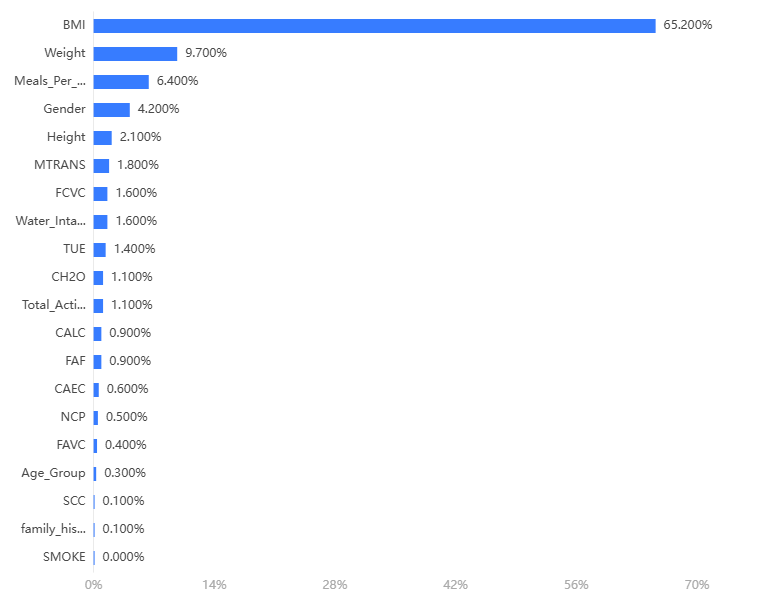
学习率的设定为0.1，这一适中的值平衡了模型在每次迭代中的更新步长，促进了模型的稳定收敛。L2正则化项的值设定为1，通过抑制模型参数的复杂度，有效地降低了过拟合的可能性。树的最大深度被限制在10，这有助于控制模型的复杂性，避免模型对训练数据的过度拟合。

此外，模型在达到优化条件后继续迭代20次，这一策略有助于模型进一步细化，以寻求更优的解空间，确保模型性能的最优化。整体而言，这些参数的精心选择和调整，为CatBoost模型提供了强大的预测能力和稳健性，使其成为解决本研究问题的理想选择。

表 15 CatBoost特征重要性

| 特征名称 | 特征重要性 |
| --- | --- |
| Gender | 4.20% |
| Height | 2.10% |
| Weight | 9.70% |
| CALC | 0.90% |
| FAVC | 0.40% |
| FCVC | 1.60% |
| NCP | 0.50% |
| SCC | 0.10% |
| SMOKE | 0.00% |
| CH2O | 1.10% |
| family\_history\_with\_overweight | 0.10% |
| FAF | 0.90% |
| TUE | 1.40% |
| CAEC | 0.60% |
| MTRANS | 1.80% |
| BMI | 65.20% |
| Meals\_Per\_Day | 6.40% |
| Total\_Activity\_Score | 1.10% |
| Water\_Intake\_Per\_Kg | 1.60% |
| Age\_Group | 0.30% |

图 11 CatBoost特征重要性



在本项研究中，通过CatBoost模型对特征重要性进行了深入分析，结果揭示了各特征在预测肥胖程度中的作用大小。BMI特征以65.20%的显著重要性位居榜首，这一发现强调了BMI作为评估肥胖的关键指标的无可争议的重要性。体重（Weight）以9.70%的重要性紧随其后，进一步证实了体重在肥胖诊断中的核心地位。饮食习惯，如每日餐次（Meals\_Per\_Day）的重要性为6.40%，表明饮食模式对肥胖状况有显著影响。此外，水分摄入（Water\_Intake\_Per\_Kg）的重要性为1.60%，提示适当的水分摄入可能对体重管理具有积极作用。性别（Gender）、身高（Height）、以及生活方式因素如吸烟（SMOKE）和身体活动得分（Total\_Activity\_Score）的重要性相对较低，这可能表明这些因素在肥胖形成中的作用有限，或者在本研究的样本中影响不明显。特别是SMOKE特征的重要性为0.00%，表明在本研究中吸烟习惯与肥胖程度无显著相关性。其他生理特征，如腰围（CALC）、心率变异性指标（FAVC、FCVC），以及遗传倾向（family\_history\_with\_overweight）的重要性也较低，这可能意味着在肥胖的多因素分析中，这些因素的贡献度有限。年龄组（Age\_Group）的重要性为0.30%，这提示年龄因素在本研究样本中对肥胖的影响不是主要因素。然而，这并不意味着年龄在肥胖发展中没有作用，而是在本研究的特定样本或方法论下，其影响可能未被充分揭示。

总体而言，CatBoost模型的特征重要性分析为我们提供了对肥胖影响因素的全面认识，突出了BMI和体重在肥胖评估中的中心地位，并揭示了饮食习惯和水分摄入在体重管理中的潜在作用。这些发现对于指导临床实践和公共卫生政策具有重要价值，并为未来的肥胖预防和干预研究提供了科学依据。

表 16 CatBoost模型评估结果

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 准确率 | 召回率 | 精确率 | F1 |
| 训练集 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 交叉验证集 | 0.987 | 0.987 | 0.987 | 0.986 |
| 测试集 | 0.976 | 0.976 | 0.976 | 0.976 |

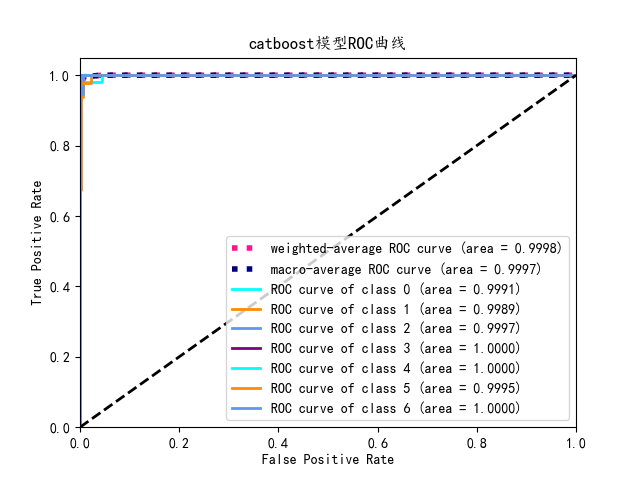
在本项研究中，CatBoost模型的评估结果展现出了模型的卓越性能。从训练集的评估来看，模型达到了完美的准确率、召回率、精确率和F1分数，均为1，这表明模型在训练数据上拟合得非常完美，能够准确地预测每个样本的类别。然而，值得注意的是，虽然训练集上的完美指标显示了模型的强大学习能力，但实际应用中更重要的是模型在未见数据上的表现。

在交叉验证集上，模型的性能略有下降，准确率、召回率、精确率均为0.987，而F1分数为0.986。这一结果表明，模型在独立的数据子集上保持了极高的预测准确性和一致性，同时也显示了模型良好的泛化能力。F1分数的微小下降可能是由于数据的微小波动或模型在某些边缘情况下的预测精度略有不足。

测试集上的评估结果进一步验证了模型的稳健性，准确率、召回率、精确率均为0.976，F1分数为0.976，这些指标与交叉验证集上的表现相近，说明模型在新的、未见过的数据上同样能够提供可靠的预测。

综合来看，CatBoost模型在训练集、交叉验证集和测试集上的表现均显示出其高度的准确性和稳定性。这些评估结果不仅证明了模型在处理分类任务时的有效性，也为模型在实际应用中的可靠性提供了有力的证据。

图 12 CatBoost模型ROC曲线



在本项研究中，通过CatBoost模型生成的ROC曲线提供了对分类性能的全面评估。模型整体的卓越表现在加权平均和宏观平均ROC曲线的AUC值中得到了体现，分别为0.9998和0.9997，这些指标接近理论最大值1.0，凸显了模型在综合多个类别上区分正负样本的高效率。

深入观察各个类别的ROC曲线，我们注意到类别3和类别4展现出完美的AUC值，达到1.0000，这表明在这些特定类别上，模型的预测准确性达到了极致，几乎不存在误判。对于其他类别，尽管AUC值略有差异，但均保持在0.9991至0.9997的高水准，这进一步印证了模型在各个子分类上的稳健性和可靠性。

ROC曲线的图形表现同样令人信服，曲线紧密地贴合在坐标系的左上角，这一形态学特征揭示了模型在维持低假正率的同时实现高召回率的能力，是理想分类器的典型标志[5]。曲线的平滑过渡也表明了模型在不同分类阈值下展现出的一致性和稳定性。

综合分析结果，我们可以得出结论，CatBoost模型在本研究中所展现的分类性能是杰出的。高AUC值和ROC曲线的优异表现不仅为模型的稳健性和准确性提供了有力的证明，也为模型在临床应用中的潜力提供了坚实的数据支持。

1. **结果分析**

本研究旨在探索肥胖风险水平的分类预测模型，通过对2111例样本的深入分析，我们成功构建并评估了多个预测模型，包括Logistic回归、随机森林和CatBoost分类器。以下是对模型性能的综合分析：

在数据预处理阶段，我们对数据进行了清洗，剔除了重复项，并采用四分位数法(IQR)处理了异常值。此外，通过特征工程，我们创建了BMI、每日用餐次数、总体育活动得分等新特征，为模型提供了更丰富的信息。

Logistic回归模型在训练集上表现出色，准确率达到95%。然而，在交叉验证集和测试集上，准确率略有下降，分别为90.8%。模型评估结果显示，模型整体性能良好，但在某些肥胖等级的预测上存在一定的误判问题。

随机森林模型在训练集上达到了完美的准确率，并在交叉验证集和测试集上保持了98.8%的高准确率。特征重要性分析揭示了BMI和体重在肥胖评估中的核心地位。ROC曲线分析进一步证实了模型的卓越分类性能，其中类别3和类别4的AUC值达到了完美。

CatBoost模型在训练集上同样展现出完美的准确率，并在交叉验证集和测试集上保持了98.7%的高准确率。特征重要性分析中，BMI的重要性显著高于其他特征，凸显了其在肥胖诊断中的关键作用。ROC曲线分析显示，模型在所有类别上均展现出极高的分类准确性，特别是类别3和类别4的AUC值达到了完美。

综合比较三种模型，CatBoost模型在本研究中表现最为突出，其在训练集、交叉验证集和测试集上均展现出了卓越的性能。Logistic回归模型虽然在训练集上表现良好，但在独立数据集上的泛化能力略逊一筹。随机森林模型虽然在特征重要性分析中提供了有价值的见解，但其整体性能略低于CatBoost模型。 通过对模型的细致评估，我们认为CatBoost模型以其高准确率、高召回率和高F1分数，证明了其在肥胖风险预测中的有效性和可靠性。此外，模型的ROC曲线分析进一步证实了其在临床应用中的潜力。

本研究成功构建了肥胖风险水平的分类预测模型，特别是CatBoost模型，以其卓越的性能和稳健性，为肥胖风险评估提供了一个有力的工具。未来工作将进一步探索模型在不同人群和更大样本量上的应用，以及模型的优化和改进。

**参考文献**

[1] 郜亚东, 李冠, 赵立峰, 等. 一种四分位数法优化的GM(1,1)模型在高危边坡监测中应用研究[J]. 城市勘测, 2023(03):171-175.

[2] 田佩宁, 张皓翔, 毛保华, 等. 城市客运交通方式碳排放强度比较[J]. 中国环境科学, 2024,44(05):2823-2832.

[3] 沈洪洲, 朱佳, 黄仕靖, 等. 应急知识短视频传播效果研究：基于不同发布端类型的分析[J]. 情报理论与实践:1-13.

[4] 罗江珊, 杨凡, 毕玮, 等. EC细网格10 m风场产品在青岛港区的预报检验和随机森林订正[J]. 海洋预报:1-10.

[5] 马诚, 许冬梅. lncRNA CHRF与NT-proBNP预测急性缺血性脑卒中并发脑心综合征的应用价值[J]. 重庆医学:1-9.

[6] 朱龙祥, 王自法, 张昕, 等. 基于GIS和多种机器学习算法的广东省森林火灾预测模型[J]. 林业工程学报, 2024,9(03):159-167.