

肥胖、超重、BMI正常患者腹部脏器及腹部肌肉异位脂肪堆积的MRI定量分析

郭芯宇¹, 李爱莹¹, 朱文妹², 李 晖^{1*}

¹华北理工大学附属医院医学影像中心, 河北 唐山

²浙江大学医学院附属第四医院放射科, 浙江 金华

收稿日期: 2025年2月26日; 录用日期: 2025年3月19日; 发布日期: 2025年3月27日

摘 要

目的: 肥胖的定义是身体质量指数(BMI)超过 28 kg/m^2 , 近年来肥胖人数日益增加, 肥胖已成为一个严重的健康问题。本研究的目的是定量分析肥胖、超重和正常BMI患者腹部脏器及腹部肌肉异位脂肪堆积的差异以及较为敏感的部位。材料与方法: 纳入华北理工大学附属医院接受腹部核磁共振检查的226名连续患者, 他们接受了BMI计算的标准临床评估。BMI肥胖者92例, BMI超重者62例, BMI正常者72例。所有对象均进行了上腹部3.0T MRI mDixon序列扫描, 分别测量肝脏、胰腺、脾脏、肾脏、第三腰椎体水平腰大肌、竖脊肌、多裂肌脂肪含量, 以及测量内脏脂肪面积(VFA)和皮下脂肪面积(SFA)。结果: 肝脏FF值、胰腺FF值、肾脏FF值、腹部肌肉FF值、VFA及SFA在肥胖组、超重组和BMI正常组两两之间都具有统计学意义($P < 0.05$)。脾脏FF值在肥胖组、超重组和BMI正常组两两之间没有统计学意义($P > 0.05$)。相关性分析显示, 年龄和性别对腹部脏器和腹部肌肉异位脂肪堆积存在一定的相关性。校正年龄和性别之后, 多因素分析显示, 在肥胖、超重和BMI正常组中, 胰腺FF值($OR = 1.32, P < 0.05$)、腰大肌FF值($OR = 1.66, P < 0.05$)、多裂肌FF值($OR = 1.88, P < 0.05$)、VFA ($OR = 1.04, P < 0.05$)、SFA ($OR = 1.02, P < 0.05$)都具有统计学意义, 提示这些指标和BMI界定的肥胖、超重和正常组具有一定的相关性, 对肥胖有一定的提示作用。结论: 肥胖患者易在腹部脏器、腹部肌肉及皮下出现脂肪沉积; 胰腺和腹部肌肉的脂肪异位沉积对肥胖的发生发展更为敏感。

关键词

磁共振成像, 肥胖, 脂肪分数, 内脏脂肪面积, 皮下脂肪面积

MRI Quantitative Analysis of Ectopic Fat Accumulation in Abdominal Organs and Muscles of Obese, Overweight, and BMI Normal Patients

*通讯作者。

文章引用: 郭芯宇, 李爱莹, 朱文妹, 李晖. 肥胖、超重、BMI正常患者腹部脏器及腹部肌肉异位脂肪堆积的MRI定量分析[J]. 临床医学进展, 2025, 15(3): 2535-2542. DOI: 10.12677/acm.2025.153890

Xinyu Guo¹, Yuanying Li¹, Wenmei Zhu², Hui Li^{1*}¹Medical Imaging Center, North China University of Science and Technology Affiliated Hospital, Tangshan Hebei²Department of Radiology, The Fourth Affiliated Hospital of Zhejiang University School of Medicine, Jinhua ZhejiangReceived: Feb. 26th, 2025; accepted: Mar. 19th, 2025; published: Mar. 27th, 2025

Abstract

Objective: The definition of obesity is a body mass index (BMI) exceeding 28 kg/m². In recent years, the number of obese people has been increasing, and obesity has become a serious health problem. The purpose of this study is to quantitatively analyze the differences and sensitive areas of ectopic fat accumulation in abdominal organs and muscles among obese, overweight, and normal BMI patients. **Materials and Methods:** 226 consecutive patients who underwent abdominal MRI examination at the Affiliated Hospital of North China University of Science and Technology underwent standard clinical evaluation based on BMI calculation. There were 92 cases of BMI obesity, 62 cases of BMI overweight, and 72 cases of BMI normal. All subjects underwent a 3.0T MRI mDixon sequence scan of the upper abdomen, measuring the fat content of the liver, pancreas, spleen, kidneys, and third lumbar vertebrae at the level of the lumbar muscle, erector spinae muscle, and multifidus muscle, as well as measuring visceral fat area (VFA) and subcutaneous fat area (SFA). **Results:** The liver FF value, pancreas FF value, kidney FF value, abdominal muscle FF value, VFA, and SFA all showed statistical significance ($P < 0.05$) among the obese group, overweight group, and BMI normal group. There was no statistically significant difference in spleen FF values between the obese group, the overweight group, and the BMI normal group ($P > 0.05$). Correlation analysis shows that age and gender have a certain correlation with ectopic fat accumulation in abdominal organs and muscles. After adjusting for age and gender, multivariate analysis showed that in the obese, overweight, and BMI normal groups, pancreatic FF value (OR = 1.32, $P < 0.05$), lumbar muscle FF value (OR = 1.66, $P < 0.05$), multifidus FF value (OR = 1.88, $P < 0.05$), VFA (OR = 1.04, $P < 0.05$), and SFA (OR = 1.02, $P < 0.05$) all had statistical significance, indicating a certain correlation between these indicators and the BMI-defined obese, overweight, and normal groups, which has a certain suggestive effect on obesity. **Conclusion:** Obese patients are prone to fat deposition in abdominal organs, abdominal muscles, and subcutaneous tissue; the ectopic deposition of fat in the pancreas and abdominal muscles is more sensitive to the occurrence and development of obesity.

Keywords

Magnetic Resonance Imaging, Obesity, Fat Fraction, Visceral Fat Area, Subcutaneous Fat Area

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Open Access

1. 引言

肥胖在中国已成为重大公共卫生问题, 超重与肥胖人数众多, 现已成为世界上超重和肥胖人数最多的国家[1] [2]。饮食、营养、活动或运动等生活方式以及社会经济生产模式的转变是整体患病率逐年上升的主要原因。肥胖症的病因分类尚待完善。遗传与环境的相互作用共同促进肥胖的发生、发展[3]。肥胖的发生、发展非常复杂, 影响因素众多, 在临床上很难明确确切病因。临床上可根据发生的原因、时间及部位等进行分类, 近年来提出了新的代谢分型。最新美国临床内分泌医师协会/美国内分泌学会(AACE/ACE)联

合建议使用新的肥胖症诊断体系——基于脂肪增多的慢性病(adiposity-based chronic disease, ABCD)分型[4]。肥胖 ABCD 分型最大的改进是在诊断中引入肥胖病因和并发症,有利于医护人员针对病因治疗,也可以更好地对肥胖相关并发症作出全面评估,从而使患者得到更好的治疗。这种分型有利于改变人们关于“肥胖是因为吃太多导致”的刻板印象。肥胖症相关并发症尚无明确定义,多以 AACE 2016 年发布的指南作为评估标准[5]。该指南提出 16 种肥胖相关并发症或伴发症,包括代谢综合征、糖尿病前期、2 型糖尿病、脂代谢异常、高血压病、非酒精性脂肪肝(或代谢相关性脂肪肝病)、多囊卵巢综合征、女性不孕症等。肥胖引起的腹部器官浸润,会使脏器脂肪性质发生变化,从而引发一系列并发症[6]。

2. 材料与方法

2.1. 一般资料

本研究回顾性分析 2023 年 10 月至 2024 年 3 月就诊于华北理工大学附属医院进行核磁共振扫描的患者 226 例。根据 2021 年版的临床肥胖症多学科诊疗共识[7]: 即 $BMI < 18.5 \text{ kg/m}^2$ 为低体重; $18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 24.0 \text{ kg/m}^2$ 为正常体重; $24 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 28 \text{ kg/m}^2$ 为超重; $BMI \geq 28 \text{ kg/m}^2$ 为肥胖。选取 BMI 为正常、超重和肥胖的患者作为研究对象。本研究经华北理工大学附属医院伦理委员会批准。

正常组: 纳入标准: $18.5 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 24.0 \text{ kg/m}^2$ 。排除标准: 既往有药物性肝损伤者; 患有腹部肿瘤者; 妊娠、哺乳期妇女; 长期大量饮酒者(乙醇摄入量男性 $\geq 40 \text{ g/d}$ 、女性 $\geq 20 \text{ g/d}$, 连续 5 年以上); 半年内曾接受糖皮质激素、胰岛素治疗的患者; 图像质量欠佳者。

超重组: 纳入标准: $24 \text{ kg/m}^2 \leq BMI < 28 \text{ kg/m}^2$ 。排除标准: 同上。

肥胖组: 纳入标准: $BMI \geq 28 \text{ kg/m}^2$ 。排除标准: 同上。

2.2. 仪器与方法

采用飞利浦 Ingenia 3.0T 磁共振成像系统,腹部多通道相控阵线圈。检查体位取仰卧位,线圈位于肝区正中。冠状面 T2WI,横断面 T1WI、T2WI_SPIR、mDIXON-Quant、DWI。mDIXON-Quant 序列参数: $TR = 5.7 \text{ ms}$, $TE = 1.02 \text{ ms}$, 回波时间间隔 1.3 ms , 层厚 6 mm , $FOV = 400 \text{ mm} \times 350 \text{ mm} \times 231 \text{ mm}$, $Voxel = 2.5 \text{ mm} \times 2.5 \text{ mm} \times 6 \text{ mm}$, $Matrix = 364 \times 209 \times 77$, $NSA = 1$, 敏感性编码(SENSE) = 2, 反转角 $= 3^\circ$ (减少 T1 偏倚), 扫描 6 个回波对 T2 \times 衰减进行校正,屏气扫描,扫描时间 16 s。

2.3. 图像分析及测量

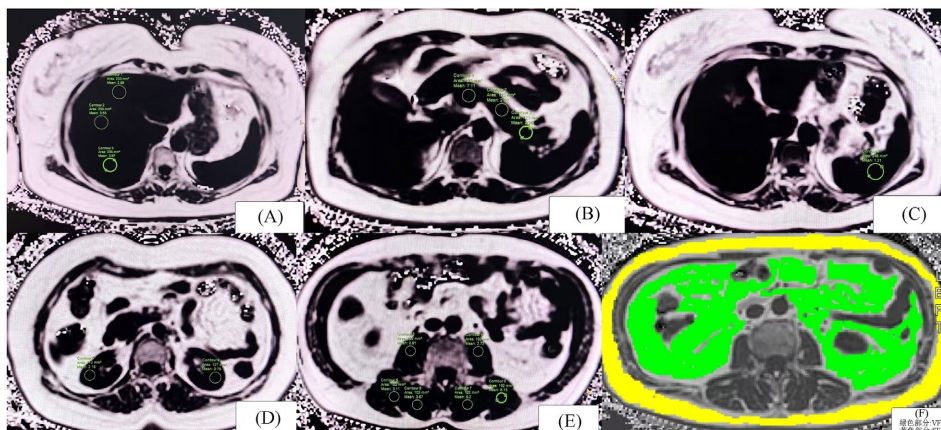


Figure 1. Schematic diagram of ROI for various organs, muscles, VFA, and SFA

图 1. 各脏器、肌肉、VFA、SFA 的 ROI 示意图

所有图像传至 Philips ISP (Intellispace Portal) 工作站进行分析, 评估图像是否可行, 由 2 名具有丰富经验人员采取双盲法对图像清晰度进行评判(常规序列及 FF 图), 摒弃影响定量参数质子密度脂肪分数 PDFF 值结果的图像。在符合标准的 FF 图上进行感兴趣区的勾画。

通过 EWS 工作站选择 mDixon-Quant 序列的脂肪分数(FF)图, 对每名受检者均在肝脏、胰腺、脾脏、肾脏及腹部肌肉分别选取感兴趣区域(ROI)。肝脏在同一层面左、右半肝共选取 3 个 ROI, 范围为 200~300 mm²; 胰腺分别于胰腺胰头、胰体、胰尾各选取 3 个 ROI, ROI 范围为 50~100 mm²; 脾脏选取同肝脏层面, 放置两个 ROI, ROI 范围为 200~300 mm²; 肾脏选取上极、中部、下极 3 个层面, 将 ROI 放置在每个层面的肾实质上; 腹部肌肉选取第三腰椎水平单层 MRI 图像作为骨骼肌(SM)、内脏脂肪面积(VFA)及皮下脂肪面积(SFA)的测量层面, ROI 范围为 50~100 mm²。详见图 1。

2.4. 统计学分析

所有数据均输入建立的数据库; 采用 SPSS 25.0 统计软件包对所获得的计数资料及计量资料进行处理。

① 计量资料用均数 \pm 标准差表示, 计数资料采用例数表示。

② 应用 Shapiro-Wilk 检验对计量数据进行正态性检验, 若符合正态分布用平均值 \pm 标准差($x \pm s$)表示, 若不符合正态分布则用中位数[M (P25, P75)]表示。

③ 正态分布的计量资料两组间比较应用独立样本 t 检验; 非正态分布的计量资料两组间比较应用 Mann-Whitney U 检验; 多组间比较应用方差分析, 若方差不齐则采用校正的 F 检验(Welch 检验), 组内两两比较应用采用 Bonferroni 检验, 若方差不齐则采用 Tamhane 检验。多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验, 组内两两比较采用 Mann-Whitney U 检验, 并进行 Bonferroni 校正。

④ 进行 Spearman 相关性分析, 相关系数 $0 < r_s \leq 0.4$ 为低度相关, $0.4 < r_s \leq 0.7$ 为中度相关, $0.7 < r_s \leq 1$ 为高度相关。

⑤ 应用多元有序 Logistic 回归分析影响肥胖的最敏感因素。

3. 结果

3.1. 一般资料

本研究共入组 226 名受试者, 肥胖组 92 例(女 37 例, 男 55 例), 超重组 62 例(女 30 例, 男 32 例), BMI 正常组 72 例(女 41 例, 男 31 例), 三组间年龄和性别无统计学意义。受试者一般资料见表 1。

Table 1. General clinical data of subjects

表 1. 受检者一般临床资料

组别	年龄(岁)	性别(例)		BMI (kg/m ²)
		男	女	
正常组	60.00 (50.25, 71.00)	31	41	21.80 (20.55, 22.94)
超重组	57.90 \pm 1.85	32	30	26.60 (25.25, 27.37)&
肥胖组	58 (48.25, 67.75)	55	37	29.45 (28.70, 31.14)&#
χ^2/H	1.397	4.542*		195.867
P	0.497	0.103		<0.001

注: 1) &表示与正常组比较, $P < 0.05$ 。2) #表示与超重组比较, $P < 0.05$ 。3) *: χ^2 值。

3.2. 三组之间的腹部脏器和肌肉 FF 值比较

肥胖、超重和 BMI 正常组两两之间肝脏 FF 值、胰腺 FF 值、两肾 PDFF 值、腰大肌 FF 值、竖脊肌

FF 值、多裂肌 FF 值、VFA、SFA 都有统计学意义($P < 0.05$)。脾脏 FF 值在三组之间没有统计学意义($P > 0.05$)。右肾 FF 值在 BMI 正常组 vs 肥胖组和超重组 vs 肥胖组之间有统计学意义($P < 0.05$)；左肾 FF 值在 BMI 正常组 vs 超重组和 BMI 正常组 vs 肥胖组之间有统计学意义($P < 0.05$)。结果见表 2。

Table 2. Comparison of FF values of abdominal organs and muscles among normal BMI group, overweight group, and obese group

表 2. BMI 正常组、超重组和肥胖组腹部脏器及肌肉 FF 值比较

组别	肝脏 FF (%)	胰腺 FF (%)	脾脏 FF (%)	右肾 FF (%)	左肾 FF (%)	两肾 FF (%)
正常组	3.27 (2.38,5.22)	2.04 (1.41, 2.95)	0.62 (0.42, 0.94)	1.13 (0.54, 1.80)	0.76 (0.37, 1.29)	0.99 (0.54, 1.53)
超重组	4.32 (3.12, 7.90)*	3.15 (2.13, 3.94)*	0.76 (0.38, 1.20)	1.39 (1.00, 2.04)	1.19 (0.79, 1.81)*	1.38 (0.97, 1.92)*
肥胖组	6.35 (4.22, 13.47)*#	5.14 (3.57,8.02)*#	0.86 (0.48, 1.29)	1.76 (1.28, 2.87)*#	1.68 (0.74, 2.45)*	1.79 (1.16, 2.50)*#
H	40.614	83.953	4.716	26.350	27.863	33.441
P	<0.001	<0.001	0.095	<0.001	<0.001	<0.001

组别	腰大肌 FF (%)	竖脊肌 FF (%)	多裂肌 FF (%)	VFA (cm ²)	SFA (cm ²)
正常组	3.90 (3.66, 3.79)	4.13 (3.71, 5.19)	4.08 (3.79, 5.08)	52.15 (30.86, 73.15)	82.29 (60.16, 106.87)
超重组	6.11 (5.31, 7.17)*	6.88 (5.74, 7.81)*	6.17 (5.68, 7.12)*	87.78 (71.10, 111.57)*	103.40 (79.51, 141.95)*
肥胖组	7.57 (6.19, 9.33)*#	7.77 (6.50, 9.66)*#	7.43 (6.11, 9.22)*#	144.85 (121.42, 179.82)*#	140.25 (107.90, 175.07)*#
H	126.243	108.784	114.016	137.061	59.295
P	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001	<0.001

注：1) *表示与正常组比较， $P < 0.05$ 。2) #表示与超重组比较， $P < 0.05$ 。

3.3. 肥胖、超重和 BMI 正常组相关性比较

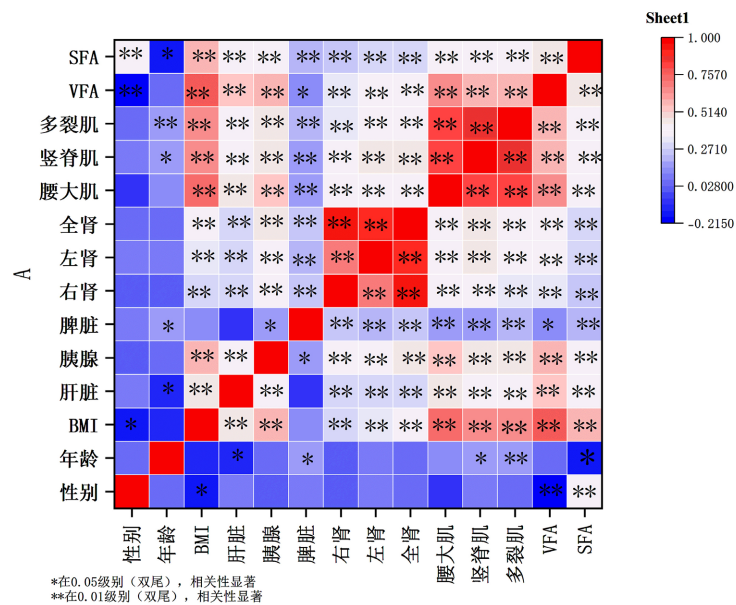


Figure 2. Comparison heatmap of the correlation between obesity, overweight, and normal BMI groups

图 2. 肥胖、超重和 BMI 正常组相关性比较热图

异位脂肪沉积、腹部脏器脂肪分数、腹部肌肉脂肪分数、VAF 和 SAF 参数之间的相关性如图 2 热图所示。颜色深度表明，相关系数从低($r = -0.215$ 紫色)到高($r = 1$; 红色); * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$ 。

3.4. 多因素分析肥胖、超重和 BMI 正常组反映脂肪堆积最敏感指标

多因素分析显示(见表 3)，在 BMI 正常组、超重组、肥胖组中，胰腺 FF 值($OR = 1.32, P < 0.05$)、腰大肌 FF 值($OR = 1.66, P < 0.05$)、多裂肌 FF 值($OR = 1.88, P < 0.05$)、VFA ($OR = 1.04, P < 0.05$)和 SFA ($OR = 1.02, P < 0.05$)和 BMI 具有一定的相关性，肝脏 FF 值、脾脏 FF 值、肾脏 FF 值、竖脊肌 FF 值在一定程度上不能反映随着 BMI 带来的脂肪沉积变化。

Table 3. Analysis of the most sensitive indicators reflecting fat accumulation in the obese, overweight, and BMI normal groups
表 3. 肥胖、超重和 BMI 正常组反映脂肪堆积最敏感指标分析

变量	b 值	b 值标准误	Wald 卡方值	P 值	OR 值	OR 值的 95% CI
性别	-1.262	0.523	5.821	0.016	0.280	0.100~0.790
年龄	-0.061	0.016	14.609	<0.001	0.94	0.910~0.970
胰腺 FF	0.281	0.088	10.073	0.002	1.320	1.110~1.570
腰大肌 FF	0.508	0.187	7.414	0.006	1.660	1.150~2.400
多裂肌 FF	0.629	0.199	9.951	0.002	1.880	1.270~2.770
VFA	0.037	0.007	29.290	<0.001	1.040	1.020~1.050
SFA	0.015	0.005	7.969	0.005	1.020	1.010~1.030

4. 讨论

在本研究中，评估了 226 例肥胖、超重和正常 BMI 的连续患者的肝脏、胰腺、脾脏、肾脏、腹部肌肉，内脏及皮下的异位脂肪积累，我们发现，在一定程度上，随着 BMI 的增长，肝脏、胰腺、肾脏、腹部肌肉、内脏及皮下异位脂肪堆积呈增加趋势，随着 BMI 的增加，各器官的异位脂肪积累增加似乎是一个合乎逻辑的结论，其他研究也提出了类似的结果[8][9]。国外一篇文献通过评估肝脏、胰腺和骨骼肌的脂肪分数，得到了类似的结论[10]。

而脾脏脂肪分数变化不明显，可能与脾脏的结构功能有关，其特有的血管结构有利于血液快速流动和高效的养分交换[11]，不利于异位脂肪的沉积。

相关性分析显示：BMI 与肝脏 FF 值($r = 0.464, P < 0.05$)、胰腺 FF 值($r = 0.576, P < 0.05$)、右肾 FF 值($r = 0.307, P < 0.05$)、左肾 FF 值($r = 0.336, P < 0.05$)、全肾 PDFF 值($r = 0.354, P < 0.05$)、腰大肌 FF 值($r = 0.726, P < 0.05$)、竖脊肌 FF 值($r = 0.656, P < 0.05$)、多裂肌 FF 值($r = 0.657, P < 0.05$)、VFA ($r = 0.792, P < 0.05$)、SFA ($r = 0.580, P < 0.05$)具有相关性。在本研究中，BMI 与脾脏脂肪分数没有相关性。一篇基于青年人腹部脂肪分布及内脏脂肪定量的研究[12]发现，BMI 与肝脏、胰腺的 FF 值不存在相关性，与本研究相反；而主要与 VFA 存在一定的相关性的结论与本研究一致。只根据 BMI 判定的肥胖不能准确地对脂肪进行定量评估，只可以大致评价脂肪组织的分布情况。年龄、性别是潜在的混杂因素，可能会对脂肪异位沉积造成一定的影响，有研究证实了这一点[13]，同时在本研究中也体现。校正年龄和性别，多因素分析结果显示：与肝脏、肾脏相比，胰腺异位脂肪堆积更为敏感，相关性更强，有研究发现关于各器官脂肪积累动态的信息，得出脂肪在肌肉中的积累速度相对最快，其次是胰腺，最后是肝脏[8]。本研究相关性分析也同样地显示出，与脏器相比，BMI 与腹部肌肉相关性更强。提示腹部肌肉更能较为敏感地反映肥胖的增加，原因可能为：肌肉中的脂肪代谢更为活跃，容易受饮食和运动的影响，变化较快。

而脏器周围的脂肪代谢相对稳定,变化较慢。肌肉脂肪沉积对胰岛素和肾上腺素等激素更敏感,容易受激素水平波动的影响,而脏器脂肪沉积对激素反应相对迟钝,变化较慢。肌肉脂肪沉积容易引发局部炎症,进一步增加代谢活性,而脏器炎症反应较弱,代谢活性较低。

胰腺脂肪含量低是一种常见现象,通常与临床症状无关[14][15]。在现有文献中存在一些争议[16][17]。Patel 等人的论文发现,胰腺脂肪与年龄、BMI 和糖尿病状态无关,而胰腺脂肪含量随着组织学决定的肝脏脂肪变性的增加而显著增加[18]。而 Heni 等人[19]的论文表明,胰腺脂肪含量与 BMI、内脏脂肪组织和腰围呈正相关。胰腺脂肪含量与年龄、性别和肝脏脂肪含量没有关联[20]。本研究得到了胰腺脂肪分数和肝脏脂肪分数有弱相关性,与 BMI、VFA 具有中度相关性,这可能和筛选人群的差异及地区差异有关。

关于肾实质 FF 值与 BMI 也尚存争议[21],有研究发现两者之间没有相关性[22],在本研究中,经过多因素分析发现,肾实质 FF 值与 BMI 没有统计学意义,其不是评估 BMI 定义肥胖的敏感指标。

通过相关性分析可以看到,腹部脏器异位脂肪沉积与腹部肌肉异位脂肪沉积具有中度相关性,这可能和共同的代谢环境、相似的激素调节、炎症因子的共同作用有关,其中胰岛素、皮质醇等激素在脂肪分布中起关键作用,异常的激素水平会同时促进脏器和肌肉中的脂肪积累。

本研究存在一定的局限性:首先存在潜在的混杂偏倚因素,未来可进一步细化分组,或者加大样本量研究。其次,本研究为回顾性研究,容易受到选择偏倚和信息偏倚的影响,回顾性研究难以控制混杂因素,有待通过前瞻性研究进一步验证结论。还有可以增加除 BMI 以外的分组指标进一步进行分析,从而能够对肥胖进行更准确的定量分析。

5. 结论

通过以上分析,我们得到了 BMI 正常、超重及肥胖组中,腹部肌肉相较于腹部脏器反应更加敏感,其次是胰腺。同时还发现,VFA 与脏器及肌肉的相关性比 BMI 更强,且 BMI 与腹部脏器脂肪含量大多存在一些争议,其只能大致评价脂肪组织的分布情况(主要是 SFA),不能准确地定量评估。这表明仅凭 BMI 测量不足以确定代谢风险。

参考文献

- [1] Wang, Y., Wang, L. and Qu, W. (2016) New National Data Show Alarming Increase in Obesity and Noncommunicable Chronic Diseases in China. *European Journal of Clinical Nutrition*, **71**, 149-150. <https://doi.org/10.1038/ejcn.2016.171>
- [2] Ng, M., Fleming, T., Robinson, M., Thomson, B., Graetz, N., Margono, C., et al. (2014) Global, Regional, and National Prevalence of Overweight and Obesity in Children and Adults during 1980-2013: A Systematic Analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *The Lancet*, **384**, 766-781.
- [3] Seravalle, G. and Grassi, G. (2017) Obesity and Hypertension. *Pharmacological Research*, **122**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.phrs.2017.05.013>
- [4] Frühbeck, G., Busetto, L., Dicker, D., Yumuk, V., Goossens, G.H., Hebebrand, J., et al. (2019) The ABCD of Obesity: An EASO Position Statement on a Diagnostic Term with Clinical and Scientific Implications. *Obesity Facts*, **12**, 131-136. <https://doi.org/10.1159/000497124>
- [5] Muscogiuri, G., El Ghoch, M., Colao, A., Hassapidou, M., Yumuk, V. and Busetto, L. (2021) European Guidelines for Obesity Management in Adults with a Very Low-Calorie Ketogenic Diet: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Obesity Facts*, **14**, 222-245. <https://doi.org/10.1159/000515381>
- [6] Lee, R.E., Parker, N.H., Hallett, A.M., Kao, D., Modelska, M.J., Rifai, H.S., et al. (2020) Stakeholder Perspectives and Sustainability of an Integrated Care Model for the Prevention and Management of Obesity: The Childhood Obesity Research Demonstration (CORD) Project. *Translational Behavioral Medicine*, **11**, 393-407. <https://doi.org/10.1093/tbm/ibaa058>
- [7] Pickhardt, P.J., Jee, Y., O'Connor, S.D. and del Rio, A.M. (2012) Visceral Adiposity and Hepatic Steatosis at Abdominal CT: Association with the Metabolic Syndrome. *American Journal of Roentgenology*, **198**, 1100-1107. <https://doi.org/10.2214/ajr.11.7361>

- [8] Heber, S.D., Hetterich, H., Lorbeer, R., Bayerl, C., Machann, J., Auweter, S., *et al.* (2017) Pancreatic Fat Content by Magnetic Resonance Imaging in Subjects with Prediabetes, Diabetes, and Controls from a General Population without Cardiovascular Disease. *PLOS ONE*, **12**, e0177154. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0177154>
- [9] Schweitzer, L., Geisler, C., Pourhassan, M., Braun, W., Glüer, C., Bösby-Westphal, A., *et al.* (2016) Estimation of Skeletal Muscle Mass and Visceral Adipose Tissue Volume by a Single Magnetic Resonance Imaging Slice in Healthy Elderly Adults. *The Journal of Nutrition*, **146**, 2143-2148. <https://doi.org/10.3945/jn.116.236844>
- [10] Pienkowska, J., Brzeska, B., Kaszubowski, M., Kozak, O., Jankowska, A. and Szurowska, E. (2019) MRI Assessment of Ectopic Fat Accumulation in Pancreas, Liver and Skeletal Muscle in Patients with Obesity, Overweight and Normal BMI in Correlation with the Presence of Central Obesity and Metabolic Syndrome. *Diabetes, Metabolic Syndrome and Obesity: Targets and Therapy*, **12**, 623-636.
- [11] Lori, A., Perrotta, M., Lembo, G. and Carnevale, D. (2017) The Spleen: A Hub Connecting Nervous and Immune Systems in Cardiovascular and Metabolic Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*, **18**, Article 1216. <https://doi.org/10.3390/ijms18061216>
- [12] 吴航, 周陶胡, 李玉标, 等. 基于 mLIVE 序列对青年人腹部脂肪分布及内脏脂肪定量评估的研究[J]. 磁共振成像, 2023, 14(1): 77-81.
- [13] An, Q., Zhang, Q., Wang, Y., Zhang, H., Liu, Y., Zhang, Z., *et al.* (2024) Association between Type 2 Diabetes Mellitus and Body Composition Based on MRI Fat Fraction Mapping. *Frontiers in Public Health*, **12**, Article 1332346. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1332346>
- [14] Smits, M.M. and van Geenen, E.J.M. (2011) The Clinical Significance of Pancreatic Steatosis. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **8**, 169-177. <https://doi.org/10.1038/nrgastro.2011.4>
- [15] Smereczyński, A. and Kołaczyk, K. (2016) Czy otłuszczona trzustka to banalna zmiana? *Journal of Ultrasonography*, **16**, 273-280. <https://doi.org/10.15557/jou.2016.0027>
- [16] Pezzilli, R. (2014) Pancreatic Steatosis: Is It Related to Either Obesity or Diabetes Mellitus? *World Journal of Diabetes*, **5**, 415-419. <https://doi.org/10.4239/wjd.v5.i4.415>
- [17] Kühn, J., Berthold, F., Mayerle, J., Völzke, H., Reeder, S.B., Rathmann, W., *et al.* (2015) Pancreatic Steatosis Demonstrated at MR Imaging in the General Population: Clinical Relevance. *Radiology*, **276**, 129-136. <https://doi.org/10.1148/radiol.15140446>
- [18] Patel, N.S., Peterson, M.R., Brenner, D.A., Heba, E., Sirlin, C. and Loomba, R. (2013) Association between Novel MRI-Estimated Pancreatic Fat and Liver Histology-Determined Steatosis and Fibrosis in Non-Alcoholic Fatty Liver Disease. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, **37**, 630-639. <https://doi.org/10.1111/apt.12237>
- [19] Heni, M., Machann, J., Staiger, H., Schwenzer, N.F., Peter, A., Schick, F., *et al.* (2010) Pancreatic Fat Is Negatively Associated with Insulin Secretion in Individuals with Impaired Fasting Glucose and/or Impaired Glucose Tolerance: A Nuclear Magnetic Resonance Study. *Diabetes/Metabolism Research and Reviews*, **26**, 200-205. <https://doi.org/10.1002/dmrr.1073>
- [20] Wong, V.W., Wong, G.L., Yeung, D.K., Abrigo, J.M., Kong, A.P., Chan, R.S., *et al.* (2014) Fatty Pancreas, Insulin Resistance, and β -Cell Function: A Population Study Using Fat-Water Magnetic Resonance Imaging. *American Journal of Gastroenterology*, **109**, 589-597. <https://doi.org/10.1038/ajg.2014.1>
- [21] Spurny, M., Jiang, Y., Sowah, S.A., Nonnenmacher, T., Schübel, R., Kirsten, R., *et al.* (2022) Changes in Kidney Fat Upon Dietary-Induced Weight Loss. *Nutrients*, **14**, Article 1437. <https://doi.org/10.3390/nu14071437>
- [22] Kim, S.R. and Lerman, L.O. (2018) Diagnostic Imaging in the Management of Patients with Metabolic Syndrome. *Translational Research*, **194**, 1-18. <https://doi.org/10.1016/j.trsl.2017.10.009>