

用能谱 CT 的方法评估成年人腹部脂肪分布特点及其影响因素分析

于冬妮^{1,2} 邹明珠¹ 李淼¹ 宋焱¹ 潘琦¹ 郭立新^{1,2}

¹北京医院内分泌科/北京医院放射科, 国家老年医学研究中心, 中国医学科学院老年医学研究院 100730; ²北京协和医学院研究生院 100005

通信作者: 郭立新, Email: glx1218@163.com

【摘要】 目的 用能谱 CT 的方法评估成年人腹部脂肪分布的特点, 并分析其影响因素。方法 对 105 例成年人进行身高、体重、腰围、臀围的测量, 并用能谱 CT 扫描评估腹部脂肪分布特点。结果 与非肥胖者相比, 肥胖患者的腹部皮下脂肪、腹腔和肝脏异位脂肪含量均较高 ($P < 0.05$), 而肌肉内脂肪 (IMAT) 含量并不随 BMI 而增加; 中年组的腰围、腰臀比、腹腔面积和 IMAT 均较青年组高, 且中年组的肌肉含量较青年组低, 两组间的差异有统计学意义 ($P < 0.05$); 男性的腹腔面积和肌肉含量高于女性, 而女性的皮下脂肪面积、腹部皮下脂肪厚度和竖脊肌内脂肪含量高于男性, 两组间差异有统计学意义 ($P < 0.05$)。结论 不同 BMI、年龄和性别的受试者的腹部脂肪分布的特点不同, 因此, 应重视对肥胖患者的异位脂肪分布的个体性评估。能谱 CT 可作为异位脂肪评估的重要手段, 为制定个体化的减重方案提供依据。

【关键词】 能谱 CT; 肥胖症; 腹部脂肪分布; 肌肉内脂肪

基金项目: 北京医院院级课题 (BJ-2019-162)

Using energy spectrum CT to evaluate the characteristics of adult abdominal fat distribution and analyze its influencing factors

Yu Dongni^{1,2}, Zou Mingzhu¹, Li Miao¹, Song Yan¹, Pan Qi¹, Guo Lixin^{1,2}

¹Department of Endocrinology/Department of Radiology, Beijing Hospital, National Center of Gerontology, Institute of Geriatric Medicine, Chinese Academy of Medical Sciences, Beijing 100730, China; ²Graduate School of Peking Union Medical College, Beijing 100005, China

Corresponding author: Guo Lixin, Email: glx1218@163.com

【Abstract】 Objective To evaluate the characteristics of adult abdominal fat distribution and analyze its influencing factors by energy spectrum CT scan. **Methods** The body height, weight, waist circumference, and hip circumference of 105 adults were measured, and the characteristics of abdominal fat distribution were evaluated by energy spectrum CT scan. **Results** Compared with non-obese individuals, the contents of abdominal subcutaneous fat, abdominal cavity and liver ectopic fat were higher in obese patients ($P < 0.05$), and the intramuscular fat (IMAT) content did not increase with the increase of BMI. In middle-aged group, the waist circumference, waist-to-hip ratio (WHR) abdominal cavity area and IMAT content were higher than those in the youth group, and the muscle content of the middle-aged group was lower than that of the youth group, the difference between the two groups was significant ($P < 0.05$); the male group had higher abdominal cavity area and muscle content than the female group, while the female group had higher the subcutaneous fat area, abdominal subcutaneous fat thickness and erector spinae fat content than the male group, the differences were significant ($P < 0.05$). **Conclusions** The characteristics of abdominal fat

DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210205-00101

收稿日期 2021-02-05 本文编辑 王岚

引用本文: 于冬妮, 邹明珠, 李淼, 等. 用能谱 CT 的方法评估成年人腹部脂肪分布特点及分析其影响因素 [J]. 中华流行病学杂志, 2021, 42(5): 909-913. DOI: 10.3760/cma.j.cn112338-20210205-00101.



distribution of subjects with different BMI, age and gender were different. Therefore, we should pay attention to the individual assessment of ectopic fat distribution in obese patients. Energy spectrum CT can be used as an important approach for the assessment of ectopic fat to provide evidence for developing individualized weight loss programs.

【Key words】 Energy spectrum CT; Obesity; Abdominal fat distribution; Intramuscular fat

Fund program: Funded by Beijing Hospital (BJ-2019-162)

随着经济水平的提高和人们生活方式的改变,肥胖症的患者越来越多。2016年我国肥胖症人口已位居世界首位^[1]。我国2019年发布的最新流调数据显示中国成年人肥胖症的患病率已达14%,腹型肥胖的患病率达31.5%。皮下脂肪是白色脂肪最主要的储存部位。当能量过剩导致脂肪进一步增加时,脂肪细胞就会在机体肝脏、肾脏、心脏和肌肉等组织和脏器异位沉积。与皮下脂肪相比,异位脂肪沉积过多导致产生的脂毒性被认为与多种代谢(如2型糖尿病、非酒精性脂肪肝、高血压、冠心病和卒中等)的关系更加密切^[2-3]。目前尚缺乏简便有效的适合于临床评估腹部异位脂肪分布的影像学检查方法。本研究采用能谱CT的方法评估成年人腹部脂肪分布的特点及分析其影响因素。

对象与方法

1. 研究对象:2020年4-11月于北京医院门诊进行健康查体,符合纳入排除标准,并签署知情同意书,同意进行能谱CT检查的受试者。入组标准:18-65岁且体重稳定(入组前3个月体重波动<5%)的受试者。排除标准:继发性肥胖症患者如甲状腺功能减低、库欣综合征等;长期服用影响体重的药物(如奥利司他、糖皮质激素等);严重肝功能损伤(ALT≥3 ULN);重度肾功能不全(eGFR≤60 ml·min⁻¹·1.73 m⁻²);心功能衰竭(NYHA III~IV期);饮酒量折合乙醇量男性>140 g/周(女性乙醇摄入量>70 g/周);有精神疾患无法配合试验者;孕期和哺乳期妇女。本研究获北京医院伦理委员会批准。

2. 体重和腰围的测量方法:受试者清晨空腹测量身高、体重,计算BMI(kg/m²)。由固定人员为受试者测量腰围和臀围,计算腰臀比(WHR)。

3. 能谱CT检查:受试者平卧位使用GE Revolution的能谱CT仪测量受试者的腹部脂肪分布情况。采用能谱模式进行扫描,扫描范围自膈顶至耻骨联合水平。扫描参数:管电压:80/140 kVp(0.5 ms)切换,640 mA的电流,螺距0.984。扫描结

束后将原始图像采用50%ASIR法重建成层厚及层间距均为0.625 mm的薄层图像传至AW4.7工作站(GE Healthcare, USA),在70 keV单能量条件下,用GSI软件获得FAT(MUSCLE)密度图像和MUSCEL(FAT)密度图像。选取L3椎体横突层面进行相关测量,测量的数据包括:腹腔面积、皮下脂肪面积、前腹壁、背部及双侧椎体后部肌肉旁脂肪厚度、双侧椎体后部肌肉筋膜内的肌肉和脂肪的相对密度。为了确定观察者之间的一致性,图像分别由2名放射科医师独立测量各测量值。使用组间相关性(interclass correlation coefficients, ICC)评价观察者间的一致性,观察者间的ICC值均在0.80以上,表明能谱CT扫描所测量的不同观察者各测量值具有较好的一致性。

4. 统计学分析:采用描述性统计分析方法,对连续变量,计算患者平均值、标准差、中位数、最小和最大值等;对分类变量计算频数和百分数。试验组与各对照组之间的差异,对于分类变量,采用 χ^2 或Fisher精确检验;对于连续变量,采用方差或协方差分析进行比较。如果数据分布不满足假设检验,采用非参数方法进行检验。 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

1. 身体测量指标和腹部脂肪分布:本研究入组的成年人共105人,其中女性62人(绝经26人),年龄(46.68±12.47)岁。所有受试者的身体测量指标和腹部脂肪分布情况见表1。

2. BMI对成年人身体测量指标和腹部脂肪分布的影响:将所有受试者按BMI分为3组,其中BMI<24.0 kg/m²为正常组,24.0 kg/m²≤BMI<28.0 kg/m²为超重组,BMI≥28.0 kg/m²为肥胖组。比较3组间身体测量指标和腹部脂肪分布的特点(表2)。结果显示,肥胖症组和超重组的腰围、臀围、WHR、腹腔面积、皮下脂肪面积及厚度均高于正常组,3组间的差异有统计学意义($P<0.05$)。但值得注意的是,

表 1 受试者的身体测量指标和腹部脂肪分布

| 项 目 | $\bar{x}\pm s$ |
|--------------------------------|----------------|
| 体重(kg) | 79.11±17.86 |
| BMI(kg/m ²) | 28.69±6.04 |
| 腰围(cm) | 97.06±16.11 |
| 臀围(cm) | 105.53±12.37 |
| 腰臀比 | 0.92±0.08 |
| 腹腔面积(cm ²) | 305.75±109.46 |
| 皮下脂肪面积(cm ²) | 219.55±117.84 |
| 腹部皮下脂肪厚度(cm) | 2.80±1.11 |
| 后背皮下脂肪厚度(cm) | 1.95±1.09 |
| 左侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 4.01±1.31 |
| 右侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 4.10±1.39 |
| 竖脊肌肌肉内脂肪含量(mg/m ³) | 49.90 |
| 竖脊肌肌肉含量(g) | 979.21±103.91 |
| 脂肪肝患病比例(%) | 43.60 |

3组间的肌肉含量和肌肉内脂肪(IMAT)含量的差异并无统计学意义。

3. 年龄对成年人身体测量指标和腹部脂肪分布的影响:将所有受试者按年龄分为两组,其中<40岁为青年组,≥40岁为中年组,观察年龄对成年人身体测量指标和腹部脂肪分布的变化(表3)。研究结果显示,虽然两组间的体重和BMI差异无统计学意义,但是中年组的腰围、WHR、腹腔面积和IMAT均较青年组高,且中年组的肌肉含量较青年组低,两组间的差异有统计学意义($P<0.05$)。

4. 性别对成年人身体测量指标和腹部脂肪分布的影响:将受试者分为男性和女性两组,分别比较两组间的身体测量指标和腹部脂肪分布(表4)。

研究结果显示,男性和女性的BMI、腰围和WHR的组间差异无统计学意义,但是能谱CT的结果显示,男性的腹腔面积和肌肉含量高于女性,而女性的皮下脂肪面积、腹部皮下脂肪厚度和竖脊肌肌肉内脂肪含量均高于男性,两组间差异有统计学意义($P<0.05$)。

讨 论

异位脂肪沉积是机体胰岛素抵抗和慢性炎症反应的重要原因,与心血管疾病和代谢性疾病密切相关。我国台湾地区学者对328名非糖尿病的肥胖患者进行调查,发现胰岛素抵抗指数与腹腔内脂肪含量有显著的相关性,且腹腔内脂肪含量与机体的高敏C反应蛋白和脂联素显著相关^[4]。上海市的泥城队列研究也表明内脏脂肪含量与中国成年人新发糖尿病风险明显相关^[5]。所以,临床医师应重视异位脂肪的评估,为患者尤其是肥胖症患者制定个体化的减重方案。

基于肥胖的危害以及干预肥胖的代谢获益,临床上需要能快速、简便的评估腹部脂肪分布的影像学方法研究。既往用于评估腹腔及脏器的异位脂肪的常用影像方法包括磁共振(MRI)、定量磁共振(QMR)和核磁共振波谱(NMR spectroscopy)。虽然MRI检查结果的重复性好,但费用较高且所需时间长,不适用于体内有金属物品的患者。近年出现的能谱CT可通过瞬时高低电压切换,对配对的基物质进行密度成像,获得配对基物质的密度比值图,

表 2 BMI对身体测量指标和腹部脂肪分布的影响

| 项 目 | 正常组(n=26) | 超重组(n=22) | 肥胖组(n=57) | P值 |
|--------------------------------|--------------|---------------------------|------------------------------|-------|
| 体重(kg) | 58.75±8.71 | 75.59±7.46 ^a | 89.80±15.02 ^{a,b} | 0.000 |
| BMI(kg/m ²) | 21.68±1.65 | 26.09±1.31 ^a | 32.87±4.72 ^{a,b} | 0.000 |
| 腰围(cm) | 78.52±6.65 | 93.48±8.92 ^a | 108.16±11.86 ^{a,b} | 0.000 |
| 臀围(cm) | 92.74±5.10 | 102.43±4.73 ^a | 113.55±11.07 ^{a,b} | 0.000 |
| 腰臀比 | 0.85±0.06 | 0.91±0.08 ^a | 0.95±0.06 ^{a,b} | 0.000 |
| 腹腔面积(cm ²) | 193.00±47.87 | 276.43±73.18 ^a | 362.51±100.03 ^{a,b} | 0.000 |
| 皮下脂肪面积(cm ²) | 115.12±37.77 | 163.95±47.19 | 279.91±112.16 ^{a,b} | 0.000 |
| 腹部皮下脂肪厚度(cm) | 2.02±0.51 | 2.40±0.59 | 3.31±1.20 ^{a,b} | 0.000 |
| 后背皮下脂肪厚度(cm) | 0.93±0.34 | 1.63±0.77 ^a | 2.44±0.94 ^{a,b} | 0.000 |
| 左侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 3.06±0.86 | 3.68±0.90 | 4.44±1.25 ^{a,b} | 0.000 |
| 右侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 3.05±0.88 | 3.64±1.00 | 4.63±1.31 ^{a,b} | 0.000 |
| 竖脊肌肌肉内脂肪含量(mg/m ³) | 52.20 | 15.36 | 43.86 | 0.402 |
| 竖脊肌肌肉含量(g) | 988.68±67.37 | 1 005.63±95.54 | 972.51±109.69 | 0.398 |
| 脂肪肝患病比例(%) | 0.00 | 19.00 | 70.20 | 0.000 |

注:^a与正常组比较差异有统计学意义($P<0.05$);^b与正常组比较差异有统计学意义($P<0.05$)

表 3 年龄对身体测量指标和腹部脂肪分布的影响

| 项 目 | 青年组(n=42) | 中年组(n=63) | P 值 |
|--------------------------------|----------------|---------------|-------|
| 体重(kg) | 79.63±21.64 | 78.82±15.53 | 0.839 |
| BMI(kg/m ²) | 27.77±6.76 | 29.21±5.58 | 0.233 |
| 腰围(cm) | 91.13±16.53 | 99.85±15.25 | 0.011 |
| 臀围(cm) | 102.66±12.48 | 106.88±12.18 | 0.111 |
| 腰臀比 | 0.88±0.07 | 0.93±0.08 | 0.003 |
| 腹腔面积(cm ²) | 278.00±118.12 | 321.60±101.69 | 0.044 |
| 皮下脂肪面积(cm ²) | 226.35±144.27 | 215.67±100.65 | 0.680 |
| 腹部皮下脂肪厚度(cm) | 2.87±1.21 | 2.77±1.05 | 0.638 |
| 后背皮下脂肪厚度(cm) | 1.98±1.31 | 1.93±0.94 | 0.824 |
| 左侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 3.99±1.47 | 4.02±1.22 | 0.914 |
| 右侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 4.03±1.50 | 4.14±1.33 | 0.671 |
| 竖脊肌肌肉内脂肪含量(mg/m ³) | 22.20 | 61.32 | 0.003 |
| 竖脊肌肌肉含量(g) | 1 023.79±66.02 | 953.73±113.06 | 0.000 |
| 脂肪肝患病比例(%) | 45.00 | 42.90 | 0.492 |

表 4 性别对身体测量指标和腹部脂肪分布的影响

| 项 目 | 男性(n=43) | 女性(n=62) | P 值 |
|--------------------------------|----------------|---------------|-------|
| 体重(kg) | 83.73±16.11 | 75.99±18.42 | 0.026 |
| BMI(kg/m ²) | 28.06±4.91 | 29.12±6.71 | 0.374 |
| 腰围(cm) | 97.59±11.08 | 96.69±18.93 | 0.768 |
| 臀围(cm) | 104.39±8.47 | 106.32±14.50 | 0.404 |
| 腰臀比 | 0.93±0.06 | 0.90±0.09 | 0.063 |
| 腹腔面积(cm ²) | 333.02±109.58 | 286.86±106.15 | 0.029 |
| 皮下脂肪面积(cm ²) | 187.33±107.80 | 241.86±120.11 | 0.016 |
| 腹部皮下脂肪厚度(cm) | 2.33±1.00 | 3.13±1.07 | 0.000 |
| 后背皮下脂肪厚度(cm) | 1.86±1.14 | 2.02±1.05 | 0.441 |
| 左侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 3.72±1.29 | 4.20±1.29 | 0.056 |
| 右侧竖脊肌外侧皮下脂肪厚度(cm) | 3.85±1.43 | 4.28±1.34 | 0.112 |
| 竖脊肌肌肉内脂肪含量(mg/m ³) | 5.16 | 62.10 | 0.000 |
| 竖脊肌肌肉含量(g) | 1 020.38±95.80 | 950.70±100.31 | 0.000 |
| 脂肪肝患病比例(%) | 40.00 | 46.20 | 0.329 |

并利用其衰减变化,分析基物质的含量。因此能谱 CT 可用于机体肌肉及脂肪含量的检查,且没有增加患者 X 线的辐射剂量。已有国外学者将能谱 CT 用于对肝脏脂肪含量的评估,并将其与 B 超和 MRI 扫描结果比较,发现能谱 CT 对脂肪的测定具有快速、精确度高和可重复性好的特点^[6]。

本研究对入组的成年受试者进行身体指标和围度测量,并采用能谱 CT 的方法进行腹部扫描,探索可用于临床的异位脂肪分布评估的新的影像学方法。研究结果发现,相较于身体测量指标(BMI、腰围、臀围和 WHR),能谱 CT 对异位脂肪的评估更精确,可了解脂肪在腹部不同部位包括皮下、腹腔内、肝脏和肌肉内的分布情况。且与非肥胖者相比,肥胖症患者的腹部皮下脂肪、腹腔和肝脏异位

脂肪含量均较高,而 IMAT 含量并不随 BMI 而增加。

此外,本研究还进一步分析了年龄和性别对成年人腹部脂肪分布的影响。研究结果发现,中年组的腰围、腹腔内脂肪、IMAT 明显升高而肌肉含量下降。因此,本研究认为年龄是影响腹部脂肪分布的重要因素。随着年龄的增加,腹部脂肪负荷加重,腹腔内和肌肉内的异位脂肪沉积明显。该研究结果与 Guglielmi 等^[7]和 Peng 等^[8]的报道一致,即 IMAT 的增长与年龄增长呈正相关。但其机制目前尚未完全明确。有文献报道,肌肉质量在 40 岁左右达到顶峰后,逐渐开始下降,下降的速度约为每年 3%。萎缩的肌肉组织由脂肪组织替代可能是 IMAT 随年龄增加的重要原因之一。

此外,研究发现,在 BMI 和腰围无显著差异的

情况下,男性的腹腔面积更大,而女性的皮下脂肪和 IMAT 含量更高。研究结果与既往的多个国外研究结果一致^[9-10]。性激素水平如雌激素和雄激素的差异是引起男性和女性体成分和脂肪分布不同的主要原因。其机制与性激素如雌激素和雄激素及其受体诱导的基因表达差异有关^[11-12]。性激素通过调节过氧化物酶体增殖物激活受体 γ 、解偶联蛋白 1(UCP1)、5'腺苷单磷酸活化蛋白激酶(AMPK)和线粒体氧化磷酸化(OXPHOS)等信号通路调节脂肪组织代谢和功能^[13]。此外,性激素还可以与肾上腺素能神经的信号相互作用,导致男性与女性的脂肪分布差异^[14]。男女性脂肪分布的不同,可导致男女性出现胰岛素抵抗、代谢性疾病如糖尿病、心血管疾病等风险的差异。且不同性别对新型减重药物如利拉鲁肽、氯卡色林、纳曲酮等的疗效也不同。

虽然 BMI 和腰围是目前公认的诊断和评价肥胖症和腹型肥胖的主要指标,但是两者并不能反映体成分和腹部脂肪分布的差异。而能谱 CT 能更快速、精准地评估肥胖症患者腹部的脂肪含量和异位脂肪的分布情况,为医护人员对肥胖症患者采取不同的体重干预措施提供依据,更有利于肥胖症患者的个体化体重管理。但能谱 CT 研究刚刚起步,未来还需要进行更大样本量的临床研究,进一步探索其在肥胖症诊疗中的价值。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] NCD Risk Factor Collaboration (NCD-RisC). Trends in adult body-mass index in 200 countries from 1975 to 2014: a pooled analysis of 1 698 population-based measurement studies with 19.2 million participants[J]. *Lancet*, 2016, 387(10026): 1377-1396. DOI: 10.1016/S0140-6736(16)30054-X.
- [2] Levelt E, Pavlides M, Banerjee R, et al. Ectopic and visceral fat deposition in lean and obese patients with type 2 diabetes[J]. *J Am Coll Cardiol*, 2016, 68(1): 53-63. DOI: 10.1016/j.jacc.2016.03.597.
- [3] Hong BS, Li Y, Lai SQ, et al. Ectopic fat deposition on insulin sensitivity: correlation of hepatocellular lipid content and M value[J]. *J Diabetes Res*, 2016, 2016: 3684831. DOI:10.1155/2016/3684831.
- [4] Hsieh CJ, Wang PW, Chen TY. The relationship between regional abdominal fat distribution and both insulin resistance and subclinical chronic inflammation in non-diabetic adults[J]. *Diabetol Metab Syndr*, 2014, 6: 49. DOI:10.1186/1758-5996-6-49.
- [5] Chen PZ, Hou XH, Hu G, et al. Abdominal subcutaneous adipose tissue: a favorable adipose depot for diabetes? [J]. *Cardiovasc Diabetol*, 2018, 17: 93. DOI: 10.1186/s12933-018-0734-8.
- [6] Kjønlingsen LJ, Harneshaug M, Fløtten AM, et al. Reproducibility of semiautomated body composition segmentation of abdominal computed tomography: a multiobserver study[J]. *Eur Radiol Exp*, 2019, 3: 42. DOI: 10.1186/s41747-019-0122-5.
- [7] Guglielmi V, Maresca L, D'Adamo M, et al. Age-related different relationships between ectopic adipose tissues and measures of central obesity in sedentary subjects[J]. *PLoS One*, 2014, 9(7): e103381. DOI: 10.1371/journal.pone.0103381.
- [8] Peng XJ, Li XT, Xu ZY, et al. Age-related fatty infiltration of lumbar paraspinal muscles: a normative reference database study in 516 Chinese females[J]. *Quant Imaging Med Surg*, 2020, 10(8): 1590-1601. DOI: 10.21037/qims-19-835.
- [9] Varghese M, Griffin C, McKernan K, et al. Female adipose tissue has improved adaptability and metabolic health compared to males in aged obesity[J]. *Aging (Albany NY)*, 2020, 12(2): 1725-1746. DOI: 10.18632/aging.102709.
- [10] Karastergiou K, Smith SR, Greenberg AS, et al. Sex differences in human adipose tissues—the biology of pear shape[J]. *Biol Sex Differ*, 2012, 3: 13. DOI: 10.1186/2042-6410-3-13.
- [11] Shi ZG, Wong J, Brooks VL. Obesity: sex and sympathetics [J]. *Biol Sex Differ*, 2020, 11: 10. DOI: 10.1186/s13293-020-00286-8.
- [12] Bianchi VE, Locatelli V. Testosterone a key factor in gender related metabolic syndrome[J]. *Obes Rev*, 2018, 19(4): 557-575. DOI: 10.1111/obr.12633.
- [13] Valencak TG, Osterrieder A, Schulz TJ. Sex matters: The effects of biological sex on adipose tissue biology and energy metabolism[J]. *Redox Biol*, 2017, 12: 806-813. DOI: 10.1016/j.redox.2017.04.012.
- [14] Nari F, Jang BN, Kim GR, et al. Synergistic effects and sex differences in anthropometric measures of obesity and elevated high-sensitivity C-reactive protein levels[J]. *Int J Environ Res Public Health*, 2020, 17(21): 8279. DOI: 10.3390/ijerph17218279.