

论 著

运用磁共振IDEAL-IQ序列对2型糖尿病患者短期生酮饮食效果评价*

李思聪 黄泽弟 张雪峰*
深圳市宝安区中心医院放射科
(广东 深圳 518102)

【摘要】目的 运用磁共振IDEAL-IQ序列探究短期生酮饮食对2型糖尿病(T2DM)患者病情影响。**方法** 收集自愿接受短期生酮饮食T2DM患者18例。**结果** 18名2型糖尿病患者生酮饮食后体重、BMI、腰围、空腹血糖(FBG)、总胆固醇(CHO)、甘油三酯(TG)、低密度脂蛋白(LDL)、肝左叶FF、肝右叶FF、全肝FF、胰头FF、VATV L2、VATV L3、SATV L2、SATV L3均较生酮饮食前减低,且高密度脂蛋白(HDL)升高。生酮饮食前后体重、BMI、肝左叶FF、肝右叶FF、全肝FF、VATV L2、SATV L2、VATV L3、FBG、TG前后差异有统计学意义($P<0.05$),腰围、胰头FF、胰颈FF、胰体FF、SATV L3、CHO、HDL、LDL前后差异无统计学意义($P>0.05$)。肝左叶FF变化率、肝右叶FF变化率及全肝FF变化率均与TG变化率显著正相关($r=0.680,0.806,0.738, P<0.05$);VATV L3变化率与FBG变化率正相关($r=0.041, P<0.05$);肝左叶FF变化率与VATV L2变化率、VATV L3变化率显著正相关($r=0.546,0.501, P<0.05$);肝右叶FF变化率与VATV L3变化率显著正相关($r=0.515, P<0.05$);全肝FF变化率与VATV L2变化率、VATV L3变化率显著正相关($r=0.472,0.496, P<0.05$);胰头FF变化率与VATV L2、SATV L2、SATV L3变化率显著正相关($r=0.562,0.707,0.655, P<0.05$)。**结论** 短期生酮饮食可显著改善T2DM患者病情,上腹部磁共振IDEAL-IQ序列可对其疗效进行有效评估。

【关键词】 IDEAL-IQ序列; 生酮饮食;
2型糖尿病; 内脏脂肪

【中图分类号】 R445.2

【文献标识码】 A

【基金项目】 深圳市宝安区科技计划基础研究项目
(医疗卫生类)(20210507112116001)
宝安区医学会项目(BAYXH2023083)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.02.049

Evaluate the Effect of Short-term Ketogenic Diet Therapies in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus by Using Magnetic Resonance IDEAL-IQ Sequence*

Li Si-cong, HUANG Ze-di, ZHANG Xue-feng*

Department of Radiology, Shenzhen Bao'an District Central Hospital, Shenzhen 518052, Guangdong Province, China

ABSTRACT

Objective Explore the effect of short-term ketogenic diet therapies in patients with type 2 diabetes mellitus (T2DM) by using magnetic resonance IDEAL-IQ sequence. **Methods** A total of 18 patients with T2DM who voluntarily accepted ketogenic diet therapy were collected. All patients underwent upper abdominal magnetic resonance IDEAL-IQ sequence examination before and after KD therapy. AW4.6 post-processing workstation was used to measure the liver and pancreatic fat fraction (FF), and the abdominal and subcutaneous fat content (VATV L2, VATV L3, SATV L2, SATV L3) at the second and third lumbar vertebral body level. Pearson and Spearman methods were used to analyze the correlation between the variables. **Results** Body weight, body mass index (BMI), waist circumference, fasting blood glucose (FBG), total cholesterol (CHO), triglyceride (TG), low density lipoprotein (LDL), FF of left liver lobe, FF of right liver lobe, FF of whole liver, FF of pancreatic head, VATV L2, VATV L3, SATV L2, SATV after ketogenic diet in 18 patients with type 2 diabetes mellitus. The level of L3 was lower after ketogenic diet treatment, and the level of high-density lipoprotein (HDL) was higher. There were significant differences in body weight, BMI, FF of left liver lobe, FF of right liver lobe, FF of whole liver, VATV L2, SATV L2, VATV L3, FBG and TG before and after ketogenic diet treatment. There was no significant difference in waist circumference, FF of pancreatic head, FF of pancreatic neck, FF of pancreatic body, SATV L3, CHO, HDL and LDL before and after treatment ($P>0.05$). The rate of change of FF in the left lobe, the right lobe and the whole liver were positively correlated with the change rate of TG ($r=0.680,0.806,0.738, P<0.05$). The change rate of VATV L3 was positively correlated with the change rate of FBG ($r=0.041, P<0.05$). The change rate of FF in the left liver lobe was positively correlated with the change rate of VATV L2 and VATV L3 ($r=0.546,0.501, P<0.05$). The change rate of FF was positively correlated with the change rate of VATV L3 ($r=0.515, P<0.05$). The change rate of FF in the whole liver was positively correlated with the change rate of VATV L2 and VATV L3 ($r=0.472,0.496, P<0.05$). The change rate of FF in pancreatic head was positively correlated with the change rate of VATV L2, SATV L2 and SATV L3 ($r=0.562,0.707,0.655, P<0.05$). **Conclusion** Short-term ketogenic diet can significantly improve the condition of T2DM patients, and upper abdominal magnetic resonance IDEAL-IQ sequence can effectively evaluate its efficacy.

Keywords: IDEAL-IQ Sequence, Ketogenic Diet, Type 2 Diabetes Mellitus, Visceral Fat

生酮饮食(ketogenic-diet, KD),属于低碳水化合物饮食其中的一种,其对每日碳水摄入量控制更佳严格(20-50g/日),使得碳水所提供的能量约占总能量的5%~10%,并辅以高脂肪、适量的蛋白质及其他营养素,最初于1921年由美国医师Wildier^[1]首次提出并用于癫痫的治疗。近年来,KD在肥胖症^[2]、2型糖尿病^[3]、血脂紊乱^[4]、多囊卵巢综合征^[5]等代谢相关疾病的应用得到了国、内外学者众多学者的认可。多项研究证明^[2-4],针对肥胖症、代谢综合征患者,短期KD(≤ 24 周)可有效减轻患者体重、降低BMI、空腹血糖、糖化血红蛋白并改善血脂,但目前对其减脂分布、减脂效能及其与血糖、血脂相关性的进一步研究较少。

磁共振IDEAL-IQ技术(iterative decomposition of water and fat with echo asymmetry and least squares estimation quantification sequence)利用非对称式采集并辅以迭代最小二乘水脂分离算法可定量测量组织水-脂含量,并得出脂肪分数(fat fraction, FF)图。目前被众多学者用于肝脏^[6]、胰腺^[7]、椎体骨髓^[8]等全身各部位脂肪含量的测定,其准确性已得到广泛认可。由于该技术对脂肪组织的敏感性,使其可用于精确区分腹腔脂肪与皮下脂肪含量。因此,本文将借助磁共振IDEAL-IQ技术定量测量肝脏、胰腺脂肪含量,精准分离腹腔脂肪(visceral abdominal adiposity tissue, VAT)与皮下脂肪(subcutaneous adiposity tissue, SAT),进一步探究KD在减脂中的作用。

1 资料与方法

1.1 临床资料 选择自2021年9月至2023年9月在我院接受短期生酮饮食2型糖尿病患者18名,其中超重($BMI \geq 24 \text{ kg/m}^2$)患者16名,合并血脂紊乱者10名。

1.2 入组标准 患者自愿接受我院营养科医生制订的生酮饮食食谱,严格遵守食谱进行食物摄入3-6个月,生酮饮食前后均有一般临床资料、实验室检查及上腹部磁共振IDEAL-IQ序列检查。磁共振图像由两名高年资影像科医生分别评估,评估内容包括图像扫描范围、扫描参数、信噪比及伪影。各项要求均符合要求者入组,二者若有不同意见,则需

【第一作者】李思聪,男,主治医师,主要研究方向:影像医学与核医学。E-mail: 252358934@qq.com

【通讯作者】张雪峰,男,主任医师,主要研究方向:影像医学与核医学。E-mail: xuezhefeng1@sina.com

商讨后取得一致。本研究取得深圳市宝安区中心医院伦理委员会同意并得到患者知情同意。

1.3 排除标准 患者生酮饮食过程中出现严重不适者，如头晕、疲劳、运动耐受不良等；因各种原因无法坚持生酮饮食者；因幽闭恐惧症、心脏起搏器、体内金属植入物等原因无法行磁共振检查或图像质量不符合诊断标准者。

1.4 设备 采用美国通用公司生产的1.5T MRI扫描仪 Brivo MR360, AW4.6后处理工作站。

1.5 磁共振扫描方法 扫描前准备：所有受检者检查前禁食禁水4-6小时。扫描前由专业人员测量患者体重、腰围，以经肚脐点的腰部水平围长作为腰围。由检查者指导受检者进行呼气末屏气训练。受检者仰卧位，脚先进，使用通用公司原厂配置体部相控阵线圈，线圈中心置于剑突与脐连线中点。IDEAL-IQ序列参数：TR=15.6ms, TE选取自动配置最小值，层厚=10mm, 层间距=0mm, 回波链=6, 带宽=90.91Hz, NEX=0.5, FOV=40cm×40cm, 矩阵=160×160, 自动翻转角=6°, 频率编码方向为左右。扫描范围自膈顶至第4腰椎椎体(L4)下缘水平，呼吸末屏气采集图像，冠状位FIEAST定位序列采集耗时15秒，横断位IDEAL-IQ序列耗时16秒。在AW4.6后处理工作站分别测量肝左叶、肝右叶、胰头、胰颈、胰体部FF, 并计算全肝平均FF, 分别绘制并测算第2、3腰椎椎体水平腹腔脂肪体积(VATV L2、VATV L3)及皮下脂肪体积(SATV L2、SATV L3)。

1.6 统计学方法 采用SPSS 26.0进行统计学分析。各组数据采用S-W法进行正态性检验，若符合正态分布，以($\bar{x} \pm s$)表示，采用配对样本t检验；若不符合正态分布，以中位数和四分位距表示，采用两样本相关秩和检验，以 $P < 0.05$ 表示差异有统计学意义。

各项数据KD前后变化率=1-(KD后/KD前)，采用S-W法进行正态性检验，若符合正态分布，采用Pearson参数相关分析；不符合正态分布，采用Spearman非参数相关分析，判断双变量间的相关方向及密切程度，以 $P < 0.05$ 为相关性显著。

2 结果

2.1 患者基本情况 短期生酮饮食2型糖尿病患者共18人，其中男性12人，女性6人，年龄(36.1±8.9)岁，行实验室检查及上腹部磁共振IDEAL-IQ复查间隔时间3~6个月。

2.2 患者短期生酮饮食前后一般情况 18名患者短期生酮饮食前后体重、BMI及腰围变化见表1，可见各项指标较前均有所下降。生酮饮食前后体重、BMI差异有统计学意义($P < 0.05$)。生酮饮食前后腰围差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.3 患者短期生酮饮食前后磁共振IDEAL-IQ各项数据变化 18名患者短期生酮饮食前后磁共振IDEAL-IQ所得肝左叶FF、肝右叶FF、全肝FF、胰头FF、胰颈FF、胰体FF、VATV L2、VATV L3、SATV L2、SATV L3变化见表2，除胰颈、胰体尾FF外，其余各项数据较前均有所下降。统计学分析肝左叶FF、肝右叶FF、全肝FF、VATV L2、SATV L2、VATV L3前后差异有统计学意义($P < 0.05$)。胰头FF、胰颈FF、胰体FF及SATV L3前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.4 患者短期生酮饮食前后实验室检查数据变化 18名患者短期生酮饮食前后总胆固醇、甘油三酯、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白及空腹血糖变化见表3，可见除高密度脂蛋白较前升高外，其余参数较前均有下降。统计学分析空腹血糖、甘油三酯前后差异存在统计学意义($P < 0.05$)。总胆固醇、高密度脂蛋白、低密度脂蛋白前后差异无统计学意义($P > 0.05$)。

2.5 短期生酮饮食前后IDEAL-IQ各数据变化率与实验室检查各数据变化率相关性 18名患者短期生酮饮食生酮饮食前后IDEAL-IQ数据变化率与实验室检查数据变化率相关性见表4，可见肝左叶FF变化率、肝右叶FF变化率及全肝FF变化率均与甘油三酯变化率显著正相关($r=0.680, 0.806, 0.738, P < 0.05$)。VATV L3变化率与空腹血糖变化率正相关($r=0.041, P < 0.05$)。

表1 生酮饮食前后患者一般情况变化

	KD前	KD后	P值
体重/千克	77.72±8.46	74.43±7.98	0.048
BMI/(kg·m ²)	28.53±3.23	27.31±2.97	0.046
腰围/厘米	93.12±9.86	90.72±8.97	0.188

表2 生酮饮食前后患者磁共振IDEAL-IQ各项数据变化

	KD前	KD后	P值
肝左叶FF/%	11.40±5.77	7.14±6.24	0.012
肝右叶FF/%	12.79±66.02	7.95±6.75	0.010
全肝FF/%	12.09±5.80	7.54±6.41	0.009
胰头FF/%	7.20±5.26	6.40±4.56	0.225
胰颈FF/%	2.45(2.90)	3.45(5.50)	0.570
胰体尾FF/%	2.18±1.48	2.32±1.55	0.718
VATV L2/cm ³	557.78±202.69	490.94±174.03	0.021
SATV L2/cm ³	578.78±262.22	519.67±253.82	0.015
VATV L3/cm ³	519.72±193.91	461.89±150.33	0.045
SATV L3/cm ³	640.56±264.28	582.89±268.78	0.124

表3 生酮饮食前后患者实验室检查数据变化

	生酮饮食前	生酮饮食后	P值
总胆固醇/mmol·L ⁻¹	4.76±0.66	4.63±0.97	0.571
甘油三酯/mmol·L ⁻¹	1.53(1.32)	1.23(0.82)	0.021
高密度脂蛋白/mmol·L ⁻¹	0.98±0.24	1.08±0.20	0.104
低密度脂蛋白/mmol·L ⁻¹	3.19±0.61	3.03±0.81	0.358
空腹血糖/mmol·L ⁻¹	11.34±3.79	6.87±2.30	0.002

表4 生酮饮食前后IDEAL-IQ各数据变化率与实验室检查各数据

	总胆固醇	甘油三酯	高密度脂蛋白	低密度脂蛋白	空腹血糖
VATV L2	r -0.211	0.232	-0.111	-0.218	0.325
	P 0.400	0.353	0.661	0.385	0.188
SATV L2	r 0.075	0.141	0.057	-0.055	0.362
	P 0.766	0.576	0.823	0.829	0.140
VATV L3	r -0.187	0.413	-0.359	-0.095	0.486*
	P 0.458	0.088	0.143	0.709	0.041
SATV L3	r 0.137	0.177	-0.038	0.055	0.422
	P 0.589	0.481	0.880	0.829	0.081
肝左叶FF变化率	r 0.040	0.680**	-0.296	0.003	0.366
	P 0.874	0.002	0.233	0.990	0.135
肝右叶FF变化率	r 0.179	0.806**	-0.387	0.189	0.408
	P 0.478	0.000	0.113	0.453	0.093
全肝FF变化率	r 0.137	0.738**	-0.282	0.108	0.383
	P 0.587	0.000	0.257	0.669	0.117
胰头FF变化率	r -0.154	0.333	-0.156	-0.197	0.059
	P 0.542	0.176	0.537	0.433	0.817
胰颈FF变化率	r 0.205	-0.294	0.218	0.294	-0.393
	P 0.414	0.236	0.385	0.236	0.106
胰体尾FF变化率	r 0.466	0.041	0.105	0.590*	-0.038
	P 0.051	0.871	0.677	0.010	0.880

2.6 短期生酮饮食前后IDEAL-IQ各数据变化率相关性 18名患者短期生酮饮食前后IDEAL-IQ数据变化率相关性见表5, 可见肝左叶FF变化率与VATV L2变化率、VATV L3变化率显著正相关($r=0.546, 0.501, P<0.05$); 肝右叶FF变化率与VATV L3变化率显著正相关($r=0.515, P<0.05$); 全肝FF变化率与VATV L2变化率、VATV L3变化率显著正相关($r=0.472, 0.496, P<0.05$); 胰头FF变化率与VATV L2、SATV L2、SATV L3变化率显著正相关($r=0.562, 0.707, 0.655, P<0.05$)。

表5 生酮饮食前后IDEAL-IQ各数据变化率相关性

		VATV L2	SATV L2	VATV L3	SATV L3
肝左叶FF变化率	r	0.546*	0.387	0.501*	0.414
	P	0.019	0.113	0.034	0.088
肝右叶FF变化率	r	0.401	0.195	0.515*	0.257
	P	0.099	0.438	0.029	0.303
全肝FF变化率	r	0.472*	0.321	0.496*	0.354
	P	0.048	0.194	0.036	0.150
胰头FF变化率	r	0.562*	0.707**	0.179	0.655**
	P	0.015	0.001	0.478	0.003
胰颈FF变化率	r	-0.205	-0.224	-0.358	-0.251
	P	0.414	0.372	0.145	0.316
胰体尾FF变化率	r	-0.116	0.021	-0.290	0.064
	P	0.648	0.935	0.243	0.801

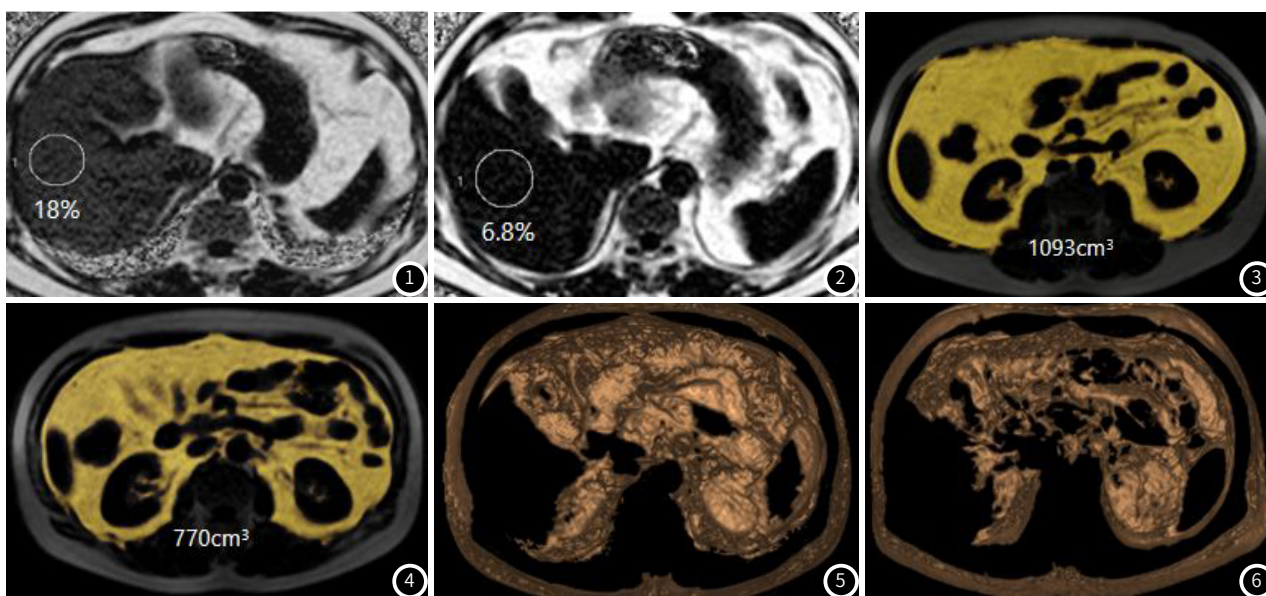


图1~6 生酮饮食前后上腹部磁共振IDEAL-IQ序列对比图。图1~2: 生酮饮食前后肝脏脂肪分数对比; 图3~4: 生酮饮食前后L2椎体层面腹腔脂肪含量对比; 图5~6: 生酮饮食前后腹腔、皮下脂肪含量VR对比图。

3 讨论

3.1 生酮饮食的机制 目前研究认为, KD可能的机制为大幅度减少碳水化合物的摄入后, 机体进入饥饿状态, 产生饥饿性酮症, 脂肪分解代谢增强, 此时脂肪代谢所产生的酮体代替碳水成为主要供能物质, 机体能量供给由“燃糖”转变为“燃脂”^[9]。此外, 由于碳水摄入减少, 肠道单糖吸收减低, 从而降低血糖水平, 减少血糖波动, 使得胰岛β细胞刺激减少, 胰岛素分泌减少。KD在减脂方面的作用已得到广泛认可, 特别是对于2型糖尿病患者, KD还可减轻胰岛素抵抗^[10], 进一步改善病情。本研究一般情况前后结果表明, 短期KD可有效减轻患者体重, 降低BMI, 且二者前后差异有统计学意义($P<0.05$), 与上述研究结论相同。

3.2 生酮饮食减脂效果 KD作为近年来流行的减重方式之一, 其减脂的效果已被广泛认可。但由于内脏脂肪与皮下脂肪在生理、内分泌等方面存在显著差异, KD能否有效并高效的燃烧内脏脂肪才是我们所需要重点关注的问题。磁共振成像IDEAL-IQ序列可有效分离脂肪组织, 并通过图像后处理精确定量内脏脂肪与皮下脂肪组织。Wang等^[11]采用磁共振IDEAL-IQ序列无创定量内脏脂肪用于预测2型糖尿病, 并发现VATV L3对2型糖尿病具有更好的预测效能。Shen等^[12]在磁共振IDEAL-IQ序列基础上利用计算机深度学习自动分割内脏脂肪与皮下脂肪。

既往有研究^[13-14]表明, 单层面脂肪体积可一定程度上反应全腹脂肪分布情况。因此, 本研究选取腰2及腰3椎体层面内脏脂

肪及皮下脂肪含量作为患者腹部脂肪分布参考, 其准确性在先前研究中^[15-16]已有阐述。既往研究中^[17-18]多以FF6.2%作为胰腺脂肪浸润临界参考, 本文所收集18名患者生酮饮食前后胰颈、胰体尾FF大多位于此临界值以下, 即不认为该处存在脂肪浸润, 因此本文将不对患者生酮饮食前后胰颈、胰体尾FF变化做进一步探讨。本研究显示KD前后患者内脏脂肪及皮下脂肪含量均有下降, 且部分层面脂肪含量变化前后差异有统计学意义, 肝脏脂肪沉积改变与内脏脂肪含量变化显著正相关, 胰头脂肪沉积改变也与内脏脂肪、皮下脂肪含量变化有所关联。此外, 内脏脂肪含量的减少也有助于患者空腹血糖的降低。Liu等^[19]认为内脏脂肪的堆积可诱导肝脏脂肪变性, 且此现象对于女性存在更高的风险。因为, 以减少内脏脂肪为目标的有效减肥方式有助于预防和治疗肝脏脂肪变性。Ookura等^[20]对140名患者上腹部CT图像进行回顾性分析, 发现较大的胰腺脂肪沉积与较高的BMI、内脏及皮下脂肪堆积及肝脏脂肪变性相关, 且胰头部脂肪沉积相关性最强。通过上述研究可以发现, 内脏脂肪被认为与肝脏、胰腺脂肪沉积正相关, 且其已被广泛认为与2型糖尿病的发生发展密切相关, 本研究发现通过KD可使患者内脏脂肪含量减低, 继而使肝脏脂肪沉积、胰腺脂肪沉积减少, 空腹血糖下降, 且其间变化存在相关性, 与上述研究结论一致。

3.3 生酮饮食与代谢综合征 Radu等^[21]认为, 胰岛素抵抗与代谢综合征、非酒精性脂肪肝病密切相关, 且腹型肥胖即内脏脂

肪的异常囤积是病理学上主要的影响因素。Paoli等^[10]的研究指出,生酮饮食不仅可以通过减脂来抑制胰岛素抵抗,还可直接增强胰岛素敏感性,酮体的产生也可影响胰岛素的信号传导。一项针对生酮饮食对2型糖尿病患者血糖、胰岛素抵抗及脂代谢的Meta分析^[22]指出,生酮饮食可使总胆固醇、低密度脂蛋白、甘油三酯浓度、血糖浓度及糖化血红蛋白减低,并使高密度脂蛋白增加。本研究所纳入18名2型糖尿病患者短期生酮饮食后,空腹血糖、总胆固醇、甘油三酯及低密度脂蛋白均值均较前减低,高密度脂蛋白升高与上述分析报道结果相符。但统计学分析认为仅空腹血糖、甘油三酯前后差异存在统计学意义,分析原因可能为纳入患者中合并血脂紊乱者仅有10人,一定程度上影响了统计结果准确性。不过Naveh等^[23]最近研究发现有个体在生酮饮食后低密度脂蛋白急剧升高,Norwitz等^[24]也在先前的研究中发现类似的情况,并把此类个体称为“瘦体重高反应者(lean mass hyper-responders)”,提出“脂质能量模型(the lipid energy model)”,指较瘦人群在限制碳水化合物情况下,对脂肪作为代谢底物的依赖性增高,在脂蛋白脂肪酶诱导下增加肝脏对甘油三酯分泌并使得外周对其摄取增加,导致低密度脂蛋白、高密度脂蛋白的显著增高及甘油三酯减低。Charlot^[25]在生酮饮食与代谢综合征的有益影响的综述中纳入了20篇相关研究,其中仅有不足一半的研究显示生酮饮食可引起低密度脂蛋白与高密度脂蛋白的变化。因此,目前生酮饮食对脂代谢的影响(尤其是低密度脂蛋白)目前仍存在争议,未来需要更多的数据对其进行进一步探究。

3.4 本研究不足 本研究样本量较少,可能造成部分结果发生倚倚。此外,为保证图像信噪比及扫描成功率,尽可能缩短单次屏气时间,图像层厚有所牺牲,导致实质脏器偏小、偏薄位置兴趣区产生部分容积效应,影响数据准确性,尤其是胰体、胰尾部,导致部分数据不可靠,无法做出精确统计学分析。再次,腹腔及皮下脂肪含量后处理采用半自动提取方法,需先经由解剖结构人工勾勒兴趣区,易产生主观误差。

3.5 总结与思考 近年来,针对2型糖尿病治疗理念发生转变,合理控制体重在其中的作用越发重要。2023版《美国临床内分泌学会(AACE)共识声明:2型糖尿病综合管理流程》^[26]认为应将调整生活方式及减重、维持健康体重作为2型糖尿病预防和管理的核心,并且建议以减重5%~15%作为目标。美国糖尿病协会(ADA)发布的2024版《糖尿病护理标准》^[27]指出适度及持续减重3%~7%可改善血糖、血压和血脂,并可能减少对特异性药物的需求。我国最新发布的《成人糖尿病饮食指南(2023年版)》^[28]也指出肥胖患者减重后可有效改善胰岛素抵抗,超重伴有肥胖的2型糖尿病患者减重3%~5%即可产生有效健康获益。

尽管短期生酮饮食对2型糖尿病及肥胖症等的治疗效果已得到广泛认可,但长期生酮饮食的适用性、安全性、有效性^[29],及其对于合并特殊疾病(如慢性肾病)的疗效^[30]仍存在争议。因此,如何高效、安全的利用生酮饮食改善病情也是我们需重点关注的问题。

近年来随着医学影像人工智能的飞速发展,未来可建立统一化模型标准,利用计算机深度学习全自动提取、分析各脏器脂肪浸润程度及内脏、皮下脂肪含量,进一步减少人工测量误差,增加可重复性,并通过大数据分析尽早识别潜在风险,及时并个性化调整饮食结构预防与干预2型糖尿病的发生、发展。

综上所述,本研究认为对于2型糖尿病患者,短期生酮饮食可有效减重并减少内脏脂肪含量,降低患者空腹血糖及甘油三酯,减轻肝脏、胰头脂肪浸润。腹部脂肪含量的下降可减轻肝脏、胰头脂肪浸润。肝脏脂肪浸润减低有助于甘油三酯下降。此外,本文创新性研究并发现部分因素之间的变化比率存在显著关联。因此,本研究认为生酮饮食可有效改善2型糖尿病伴超重患者病情。磁共振IDEAL-IQ序列可对患者腹部脂肪含量及肝脏、胰腺脂肪浸润变化情况做出有效评估。

参考文献

- [1] WILDER R M. The effects of ketonemia on the course of epilepsy[J]. Mayo Clinic Proceedings, 1921.
- [2] BARREA L, VERDE L, SCHIAVO L, et al. Very low-calorie ketogenic diet (VLCKD)

- as pre-operative first-line dietary therapy in patients with obesity who are candidates for bariatric surgery[J]. Nutrients, 2023, 15(8).
- [3] DYŃKA D, KOWALCZE K, AMBROZKIEWICZ F, et al. Effect of the ketogenic diet on the prophylaxis and treatment of diabetes mellitus: a review of the meta-analyses and clinical trials[J]. Nutrients, 2023, 15(3).
- [4] CASTELLANA M, BIAICCHI E, PROCINO F, et al. Very-low-calorie ketogenic diet for the management of obesity, overweight and related disorders[J]. Minerva Endocrinology, 2021, 46(2): 161-167.
- [5] BARREA L, VERDE L, CAMAJANI E, et al. Ketogenic diet as medical prescription in women with polycystic ovary syndrome (PCOS) [J]. Current Nutrition Reports, 2023, 12(1): 56-64.
- [6] REN W, FENG Y, FENG Y, et al. Relationship of liver fat content with systemic metabolism and chronic complications in patients with type 2 diabetes mellitus[J]. Lipids in Health and Disease, 2023, 22(1): 11.
- [7] YU X, HUANG Y H, FENG Y Z, et al. Well-controlled versus poorly controlled diabetes in patients with obesity: differences in MRI-evaluated pancreatic fat content[J]. Quantitative imaging in medicine and surgery, 2023, 13(6): 3496-3507.
- [8] LIU J, CHEN J D, LI P, et al. Comprehensive assessment of osteoporosis in lumbar spine using compositional MR imaging of trabecular bone[J]. European Radiology, 2023, 33(6): 3995-4006.
- [9] SAKR H F, SIRASANAGANDLA S R, DAS S, et al. Low-carbohydrate ketogenic diet for improvement of Glycemic Control: Mechanism of Action of Ketosis and Beneficial Effects[J]. Curr Diabetes Rev, 2023, 19(2): e110522204580.
- [10] PAOLI A, BIANCO A, MORO T, et al. The effects of ketogenic diet on insulin sensitivity and weight loss, which came first: the chicken or the egg? [J]. Nutrients, 2023, 15(14).
- [11] WANG M, LUO Y, CAI H, et al. Prediction of type 2 diabetes mellitus using noninvasive MRI quantitation of visceral abdominal adiposity tissue volume[J]. Quantitative Imaging in Medicine and Surgery, 2019, 9(6): 1076-1086.
- [12] SHEN N, LI X, ZHENG S, et al. Automated and accurate quantification of subcutaneous and visceral adipose tissue from magnetic resonance imaging based on machine learning[J]. Magnetic resonance imaging, 2019, 64: 28-36.
- [13] CHEN S, MA D, SU D, et al. The optimal axial anatomical site for a single-slice area to quantify the total volume of visceral adipose tissue in quantitative CT[J]. Frontiers in Endocrinology, 2022, 13: 870552.
- [14] SHEN W, PUNYANITYA M, WANG Z, et al. Visceral adipose tissue: relations between single-slice areas and total volume[J]. The American Journal of Clinical Nutrition, 2004, 80(2): 271-278.
- [15] 李思聪, 黄泽弟, 张岸洲, et al. 基于IDEAL-IQ序列精准定量腹部脂肪体积技术的临床应用[J]. 中华消化病与影像杂志(电子版), 2022, 12(05): 265-269.
- [16] 黄泽弟, 李思聪, 张岸洲, 等. 基于磁共振成像的非酒精性脂肪肝患者上腹部脂肪体积与身体质量指数的相关性研究[J]. 磁共振成像, 2021, 12(7): 80-83.
- [17] SINGH R G, YOON H D, WU L M, et al. Ectopic fat accumulation in the pancreas and its clinical relevance: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression[J]. Metabolism: Clinical and Experimental, 2017, 69: 1-13.
- [18] WEN Y, CHEN C, KONG X, et al. Pancreatic fat infiltration, β -cell function and insulin resistance: A study of the young patients with obesity[J]. Diabetes Research and Clinical Practice, 2022, 187: 109860.
- [19] LIU F, CHEN S, LI X, et al. Obesity-induced hepatic steatosis is partly mediated by visceral fat accumulation in subjects with overweight/obesity: a cross-sectional study[J]. Obesity facts, 2023, 16(2): 164-172.
- [20] OOKURA R, USUKI N, MIKI Y. Correlation between pancreatic fat deposition and metabolic syndrome: relationships with location in the pancreas and sex[J]. Internal Medicine (Tokyo, Japan), 2024.
- [21] RADU F, POTCOVARU C G, SALMEN T, et al. The Link between NAFLD and Metabolic Syndrome[J]. Diagnostics (Basel, Switzerland), 2023, 13(4).
- [22] YUAN X, WANG J, YANG S, et al. Effect of the ketogenic diet on glycemic control, insulin resistance, and lipid metabolism in patients with T2DM: a systematic review and meta-analysis[J]. Nutrition & Diabetes, 2020, 10(1): 38.
- [23] NAVEH N, AVIDAN Y, ZAFRIR B. Extreme hypercholesterolemia following a ketogenic diet: exaggerated response to an increasingly popular diet[J]. Cureus, 2023, 15(8): e43683.
- [24] NORWITZ N G, SOTO-MOTA A, KAPLAN B, et al. The lipid energy model: reimagining lipoprotein function in the context of carbohydrate-restricted diets[J]. Metabolites, 2022, 12(5).
- [25] CHARLOT A, ZOLL J. Beneficial Effects of the ketogenic diet in metabolic syndrome: a systematic review[J]. 2022, 3(2): 292-309.
- [26] SAMSON S L, VELLANKI P, BLONDE L, et al. American Association of Clinical Endocrinology consensus statement: comprehensive type 2 diabetes management algorithm - 2023 update[J]. Endocrine Practice, 2023, 29(5): 305-40.
- [27] 8. Obesity and Weight Management for the Prevention and Treatment of Type 2 Diabetes: Standards of Care in Diabetes-2024[J]. Diabetes Care, 2024, 47(Suppl 1): S145-s157.
- [28] 中华人民共和国国家卫生健康委员会. 成人糖尿病饮食指南(2023年版) [J]. 全科医学临床与教育, 2023, 21(5): 388-391.
- [29] FIRMAN C H, MELLOR D D, UNWIN D, et al. Does a ketogenic diet have a place within diabetes clinical practice? review of current evidence and controversies[J]. Diabetes Therapy: Research, Treatment and Education of Diabetes and Related Disorders, 2024, 15(1): 77-97.
- [30] JOSHI S, SHI R, PATEL J. Risks of the ketogenic diet in CKD - the con part[J]. Clinical Kidney Journal, 2024, 17(1): sfad274.