

运动和脂肪代谢



脂肪的概念

- 膳食脂肪主要有三种脂类组成：甘油三酯、胆固醇和磷脂（卵磷脂、脑磷脂和神经磷脂）。
- 特点：不溶于水，溶于有机溶剂如乙醇和乙醚。

脂肪的生理功能

- 供能：1克脂肪=9千卡（37.65kJ）
- 供给不饱和脂肪酸
- 促进脂溶性维生素吸收
- 器官保护
- 美味饱腹
- 提供磷脂

脂肪的分解代谢

- 脂肪又称为甘油三酯也称三酰甘油。
- 运动时在人体内贮存的脂肪分解参与机体的供能共有三种来源：
 - 1) 贮存在脂肪组织(即脂库)中的脂肪
 - 2) 血浆脂蛋白中的脂肪
 - 3) 肌细胞浆中的脂肪滴。

脂肪组织中贮存脂肪的水解和动员

- 脂肪组织中贮存的脂肪经常有一部分在脂肪酶的作用下不断释放出甘油和脂肪酸进入血液，称为脂肪动员。
- 脂肪的水解：
- 首先由甘油三酯脂肪酶催化使甘油三酯转变为甘油二酯和1分子脂肪酸；
- 甘油三酯脂肪酶又催化甘油二酯生成甘油一酯和另1分子脂肪酸；
- 最后又由甘油一酯脂肪酶催化使甘油一酯生成甘油和第3分子脂肪酸。

激素敏感性脂肪酶

- 甘油三酯脂肪酶是脂肪水解的关键酶，其活性受到多种激素的调节。
- 儿茶酚胺，胰高血糖素，生长激素等均可增加其活性，胰岛素可以抑制其活性，所以甘油三酯脂肪酶又称为激素敏感性脂肪酶。
- 在各种促进脂肪水解的激素中以儿茶酚胺，即去甲肾上腺素和肾上腺素的作用最重要，经过对 β -肾上腺素能受体的作用，通过cAMP-PK系统(环腺苷磷酸-蛋白激酶系统)促使甘油三酯脂肪酶磷酸化而激活。

- 脂肪组织中脂肪在不断进行水解的同时也进行着再酯化过程。
- 一部分脂肪水解后生成的脂肪酸通过合成酯酰CoA (辅酶A)，再与 α -甘油磷酸一起合成甘油三酯，又称为**甘油三酯-脂肪酸循环**。

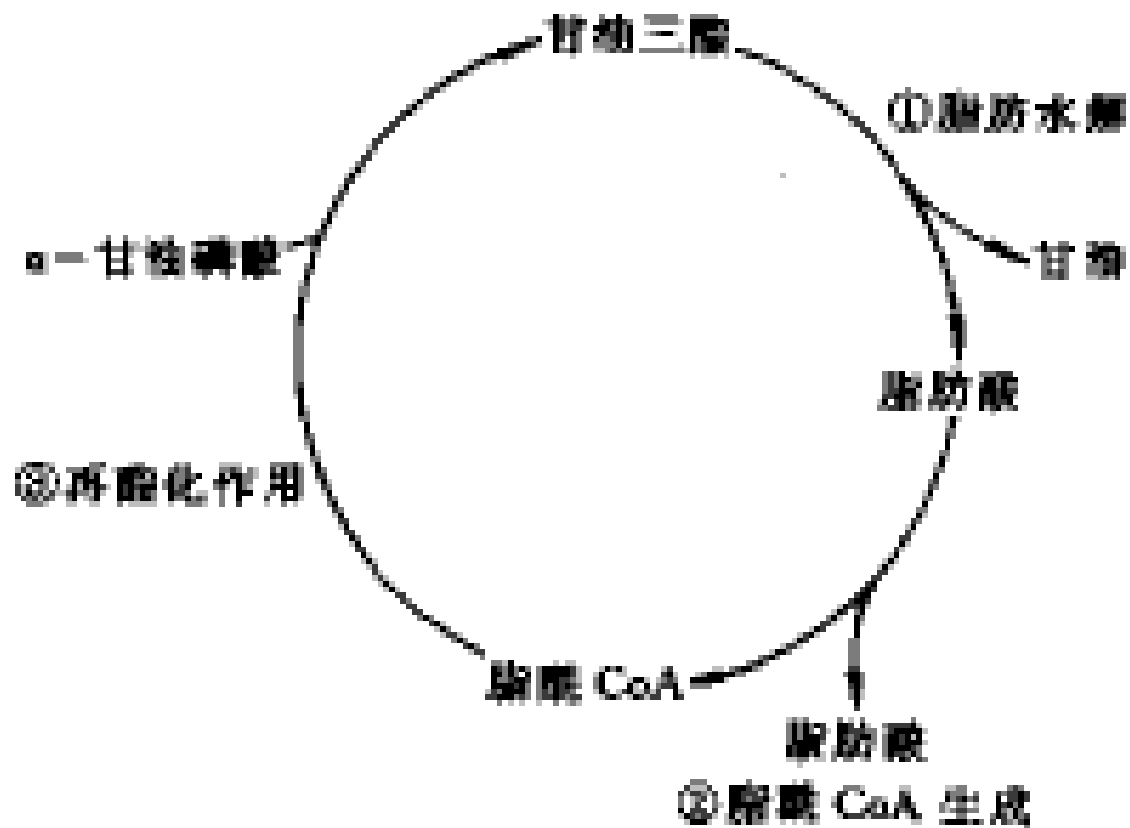


图 5-1 脂肪细胞内的脂肪水解和再酯化作用同时
进行，形成甘油三酯-脂肪酸循环

- 处于休息状态人体脂肪组织的脂肪水解所产生的脂肪酸大约1 / 3进入血液，2 / 3经再酯化作用生成甘油三酯。
- 进入血液的脂肪酸因水溶性差，立即由血浆白蛋白作为载体生成游离脂肪 (FFA)，1分子白蛋白可结合10分子脂肪酸，这样就有利于运输到各组织器官进一步代谢。

血浆脂蛋白中甘油三酯的水解

- 在血浆脂蛋白中，**乳糜微粒(CM)** 主要由消化道吸收的外源性甘油三酯；**极低密度脂蛋白(VLDL)** 含有丰富的肝脏合成的内源性甘油三酯；**低密度脂蛋白(LDL)** 和**高密度脂蛋白(HDL)** 中含较少量的甘油三酯。
- 这些脂蛋白中的甘油三酯经过脂蛋白脂肪酶(LPL)催化后水解成为脂肪酸和甘油。脂肪酸也立即以血浆中的白蛋白作为载体生成FFA。

- LPL广泛分布于人体内，以心肌、脂肪组织和慢肌纤维具有最大的活性，肺、主动脉、肾髓质次之。
- 血液中的LPL在细胞内粗面内质网中合成，合成后即运出细胞，在毛细血管内皮细胞表面与硫酸肝素结合。
- 肝素与LPL的亲合力大于硫酸肝素，可以使LPL从毛细血管内皮细胞表面游离到血液中，从而可以在全血液中催化血浆脂蛋白中甘油三酯水解。
- LPL对于血浆中甘油三酯水解后利用以及合成组织中甘油三酯均具有重要作用。

肌细胞内甘油三酯的水解

- 在骨骼肌和心肌细胞内也能在核糖体内合成LPL，合成后LPL不转运出细胞仍在胞内调节细胞浆脂滴的甘油三酯水解。
- 肌细胞内LPL活性受低浓度肾上腺素和胰高血糖素抑制，高浓度的肾上腺素和胰高血糖素激活。
- 肌细胞内甘油三酯为5-15mmol/kg湿肌，比脂肪组织含甘油三酯400-800mmol/kg湿脂要低得多。
- 在进行长时间中等强度的耐力运动时，肌细胞内甘油三酯水解成为脂肪酸和甘油，脂肪酸在肌细胞内氧化供能也有重要的作用。

血浆游离脂肪酸 (FFA)

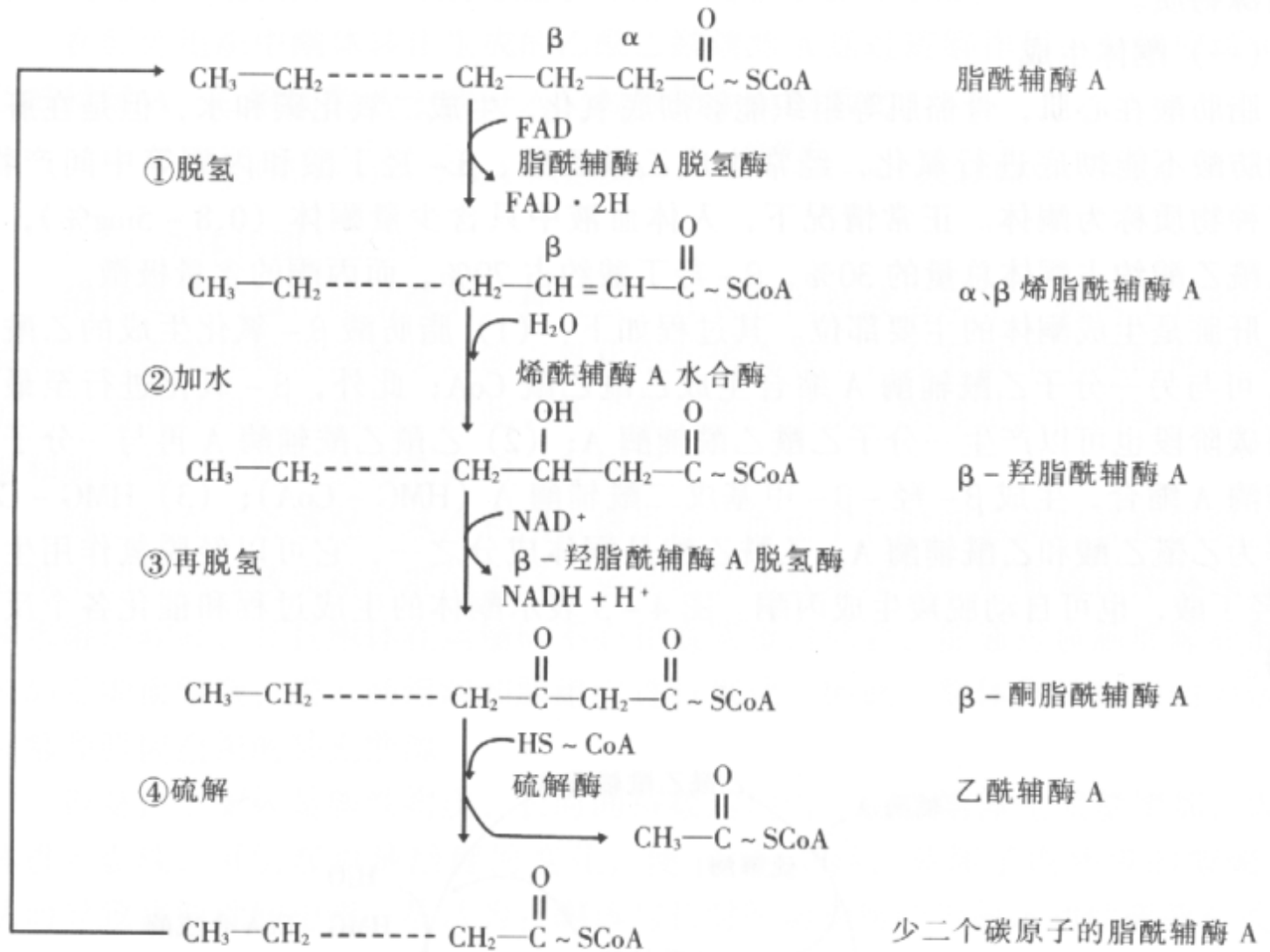
- 血浆FFA是脂肪酸在血液中的运输形式，即以白蛋白作为脂肪酸的载体。
- 在休息及空腹状态血浆FFA的浓度为6-16mg% (或0.1mmol/L)左右，显著低于血糖80-120 mg%。
- FFA在血浆中有较快的转运率：
 - 静息状态半衰期大约为4min；
 - 低强度运动时半衰期缩短到2min；
 - 中等强度运动时半衰期更缩短到0.9min。
- **结论：**血浆FFA无论在静息状态，低强度和中等强度运动时都能积极地参与各组织器官的氧化供能。

- 血浆FFA / 白蛋白的浓度比值对调节脂肪组织中脂肪的动员利用有重要作用。
- 静息状态血浆FFA / 白蛋白摩尔浓度比值是0.2；
- 长时间中等强度的耐力运动时脂肪大量水解，血浆脂肪酸增多，血浆FFA / 清蛋白比值增加到3-4。
- 这时超过白蛋白的运载能力，必然有部分脂肪酸未能与白蛋白结合，可以刺激脂肪组织血管产生收缩，阻力增大，脂肪组织供血量减少，脂肪酸不能有效地运出脂肪组织，增加了再酯化作用，这样又可以防止血浆FFA浓度过分升高对人体产生毒性作用。

- 高浓度的血浆FFA能形成微胶粒溶液，这会损伤细胞膜，增加血小板的“粘集”，引起血栓形成，干扰心脏电传导及引起心律失常，抑制一些酶的活性等。

- 血乳酸浓度升高也会促进脂肪组织中的再酯化作用，血乳酸 5mmol/L 起促进再酯化的阈值作用， 10mmol/L 使脂肪组织中水解生成的脂肪酸多半再酯化。
- 血糖浓度升高，进入脂肪细胞的葡萄糖增多，也促进再酯化作用。
- 所以在人体内糖贮备量比较充足，运动强度也相对较大时，运动时总是优先利用糖，脂肪的供能受到相当大的限制。
- 这也是为什么脂肪的供能总是在休息状态，低强度运动，尤其在长时间运动的中、后期(运动2-3h后)才显得重要起来的主要原因。

脂肪酸β氧化



运动中能量的脂肪来源

脂肪能源物质	利用情况
血浆乳糜微粒	不是主要来源
血浆VLDL	不是主要来源
血浆FFA	主要来源；来自脂肪组织的脂肪细胞；低中强度（25%-50% V_{O2max} ）运动时利用；随运动强度增加利用减少。
肌肉FFA	主要来源；来自肌肉内的甘油三酯；低强度运动利用减少；随运动强度增加（>50% V_{O2max} ）利用增加。
备注	高强度运动（>65% V_{O2max} ）时，总的脂肪氧化利用下降。

运动对甘油代谢的意义

- 运动时脂肪水解所生成的甘油主要经过血液运输到肝脏中进一步代谢，其中至少四分之三作为糖异生作用的底物，生成葡萄糖或糖原，这对于增加机体可利用糖的量，维持血糖稳定有重要作用，人处于饥饿状态或进行长时间的耐力运动时，对于维持人的生命或保持良好的运动能力都有积极作用。
- 在进行长时间运动过程中人体内糖贮备逐渐减少，体内的能量代谢逐步转化成为更多的依靠脂肪水解、动员来供能，甘油的利用量可以增大10倍之多，成为糖异生作用的重要底物之一。

酮体的生成

- 酮体是脂肪酸在肝分解氧化时特有的中间代谢产物，乙酰乙酸、 β -羟丁酸和丙酮统称酮体。
- 肝脏中具有活性较强的合成酮体的酶系，但缺乏利用酮体的酶系。
- 乙酰乙酸 $\text{CH}_3\text{COCH}_2\text{COOH}$
- β -羟丁酸 $\text{CH}_3\text{CHOHCH}_2\text{COOH}$
- 丙酮 CH_3COCH_2
- 肝线粒体内含有各种合成酮体的酶类，脂肪酸在肝线粒体中经过 β -氧化生成大量乙酰CoA是合成酮体的原料。

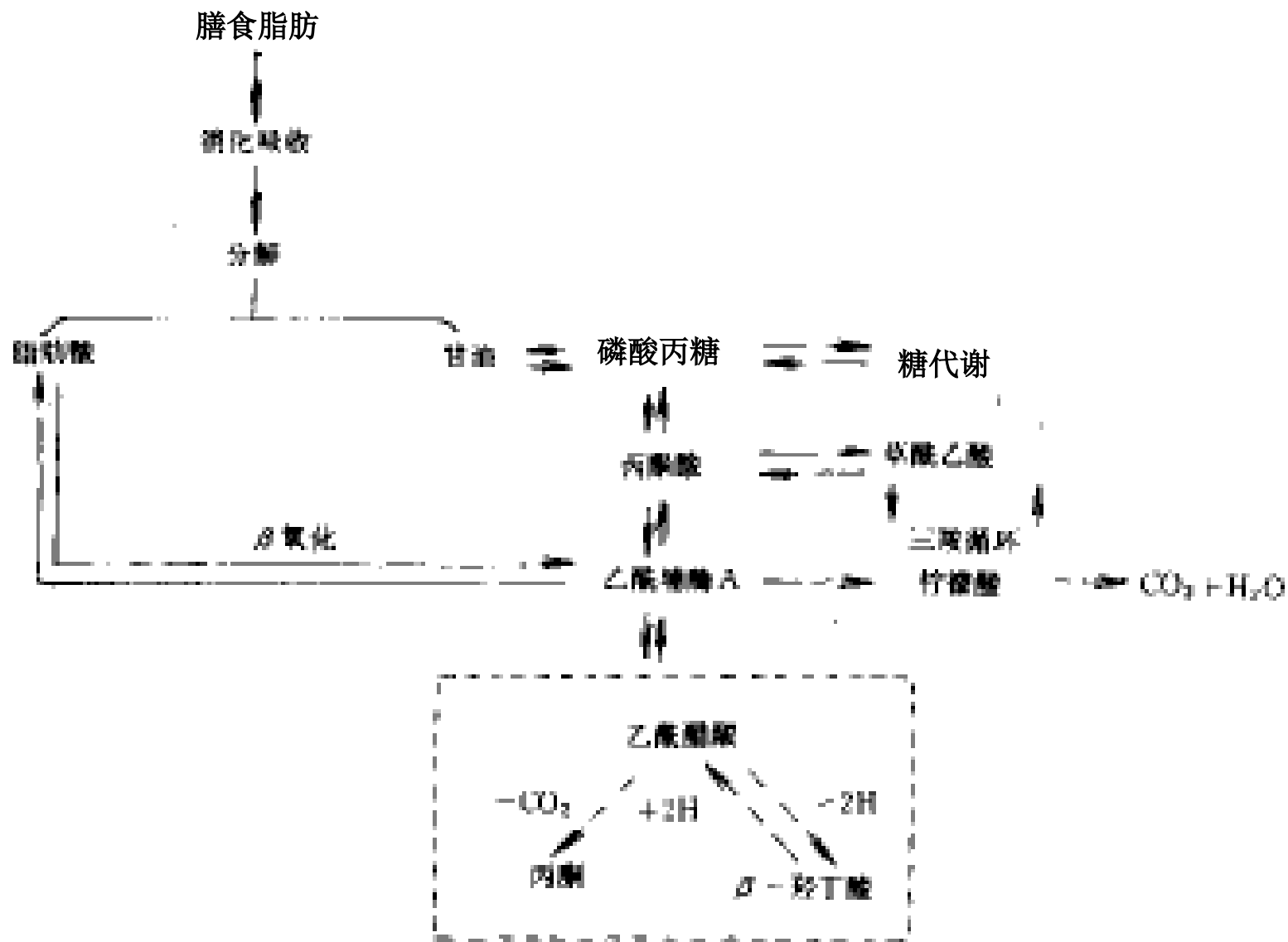


图 7-5-2-1 脂肪代谢示意图

酮体的利用

- 肝外有许多组织具有活性很强的利用酮体的酶。如骨骼肌，心肌、脑、肾的线粒体中具有较高的利用酮体的酶活性。
- 由于肝脏不能氧化利用酮体，肝中产生的酮体透过细胞膜进入血液，运输到肝外的一些组织，进一步分解氧化和利用。

酮体生成的生理意义

- 酮体是肝脏正常的中间代谢产物，人体利用脂肪氧化供能时，酮体是联系肝脏与肝外组织间的一种能源的特殊运输形式，体现了人体内脂肪氧化供能中各器官、组织之间更好的互相配合、协调和分工。
- 脂肪酸不溶于水，在血液中需要以白蛋白作为运输载体，运载量相对有限，而酮体是水溶性物质，易于在血液中运输，并且可以通过血脑屏障参与脑组织的能量代谢。

- 在正常状态，肝脏生成酮体的量不多，血液中也仅含有少量酮体，浓度为0.3mg%-5mg%，其中乙酰乙酸占30%， β -羟丁酸占70%左右，丙酮极微量。
- 在进行长时间的耐力运动时，由于脂肪大量动员，肝脏中生成的酮体大量增多，血液中酮体的浓度升高，比正常水平增加3-15倍。
- 在一定程度上酮体可以代替葡萄糖成为脑组织和肌肉的重要能源，尤其对脑组织的能量代谢具有重要意义，因为脑组织不能氧化脂肪酸但能利用酮体，这在机体糖贮备减少时节省对血液葡萄糖的利用，防止血糖过早降低，保持运动能力有积极作用。

- 饥饿、高脂低糖膳食及糖尿病时，脂肪也大量动员，酮体生成过多，超过肝外组织利用酮体的能力，血中酮体浓度升高，严重糖尿病时可达到500mg%，过高的酮血症可引起机体酸中毒，部分酮体随尿排出，引起酮尿。

- 进入肝脏的脂肪酸主要有两条代谢去路：一条是在细胞浆中与 α -甘油磷酸反应酯化合成甘油三酯和磷脂，另一条是进入线粒体经过 β -氧化生成乙酰Co A再生成酮体。
- 肝糖原的贮存量对酮体的生成有重要影响。
- 当肝糖原含量丰富时，糖代谢旺盛，生成较多 α -甘油磷酸与脂肪酸一起酯化成为甘油三酯和磷脂。
- 当肝糖原含量减少，糖代谢减弱， α -甘油磷酸及ATP不足，脂肪酸酯化减少，主要进入线粒体进行 β -氧化，酮体生成量增多。

- 所以，短时间大强度运动时体内酮体生成不多，作用不大。
- 在长时间耐力运动中、后期，肝糖原大量被消耗，加上脂肪大量动员，血浆游离脂肪酸浓度明显升高，肝脏摄取较多脂肪酸用于生成酮体，再输出酮体到血液中，运送到脑、骨骼肌、心肌等组织利用。
- 对于节省糖源，保持较长的运动能力有重要的作用。

人体适宜体重体脂百分率

- 一般认为体内脂肪占体重的百分率男性大致为20%，女性为25%，大于正常体脂水平，男性在25%以上女性在30%以上称为肥胖。
- 每个人体内肌肉的重量各不相同，经过训练的运动员，特别是力量型的运动员，骨骼肌的重量明显大于一般人，宜采用体脂百分率作为体脂多少的分级依据。
- 此外，人体内体脂含量还与年龄和性别有关。

- 脂肪组织主要由大量脂肪细胞所组成，非肥胖成人人体内脂肪细胞的总数大约为 $(25-30) \times 10^4$ 个。
- 肥胖可以由脂肪细胞数目增多或脂肪细胞体积增大而引起。脂肪细胞数目多的人自然更容易产生肥胖。

- 从婴儿出生到成年人体内脂肪细胞的数目和体积均要增加4-5倍。
- 脂肪细胞的数目增加主要发生于青春期以前。
- 16岁以后体内脂肪细胞的数目就不会再增加，以后就依靠脂肪细胞的体积增大来增加体内脂肪的贮存。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/268023120050007011>