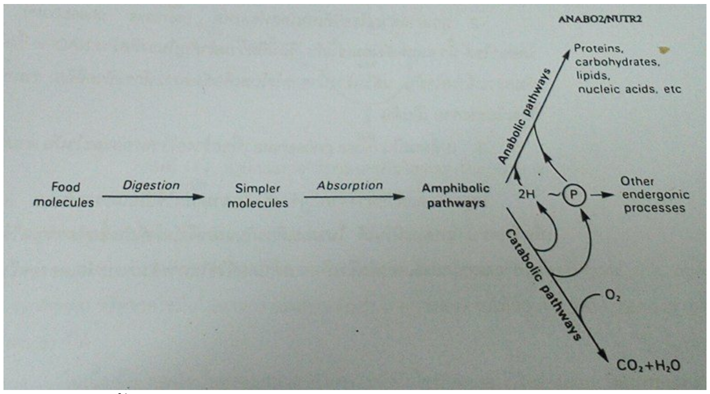
บทที่ 12
สรุปการเมแทบอไลซ์โภชนะหลักและอวัยวะที่เกี่ยวข้อง

จากปฏิกิริยาต่างๆ ที่กล่าวมาแล้วในบทก่อนๆ จะเห็นได้ว่า อาหารที่กินเข้าไปจะถูกย่อยในทางเดินอาหารส่วนต่างๆ ให้ได้เป็นสารโมเลกุลเล็กที่ไม่ซับซ้อน (simpler molecules) แล้วดูดซึมเพื่อเมแทบอไลซ์ต่อไป โดยอาจนำไปสังเคราะห์ (anabolism หรือ anabolic pathway) ให้เป็นสารโมเลกุลใหญ่ขึ้น เช่น โปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน กรดนิวคลีอิก และอื่นๆ เป็นต้น หรือสลาย (catabolism หรือ catabolic pathway) ให้เป็นสารที่มีโมเลกุลเล็กลงก็ได้ กระบวนการประเภทหลังนี้จะทำให้ได้พลังงานออกมาในรูปของสารฟอสเฟตพลังงานสูง (high energy phosphate) เช่น ATP หรือ reducing equivalents เช่น NADPH, $FADH_2$ เป็นต้น ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการขับเคลื่อนปฏิกิริยาจำพวกแรก นอกจากนี้ยังมีบางวัฏจักรที่ทำหน้าที่ทั้ง 2 ประเภท คือ ทั้งสังเคราะห์และย่อยสลายสาร (amphibolic pathway) เช่น วัฏจักรเครบส์ เป็นต้น โดยจะทำหน้าที่เป็นตัวเชื่อมปฏิกิริยาทั้ง 2 ประเภทเข้าด้วยกัน ดังในภาพที่ 12.1



ภาพที่ 12.1 สรุปปฏิกิริยาทั้ง 3 ประเภทของเมแทบอลิซึม (Murray *et al*, 1996)

การรู้เรื่องเมแทบอลิซึมจะทำให้เข้าใจถึงสภาวะต่างๆ ของร่างกายทั้งในยามปกติและไม่ปกติ เช่น อดอาหาร ออกกำลังกาย อุ้มท้อง และให้นม เป็นต้น ความผิดปกติของเมแทบอลิซึมอาจเกิดเนื่องจากขาดฮอร์โมน ขาดเอนไซม์ หรือมีสมดุลของโภชนะผิดไป โรคดังกล่าวเรียกว่า metabolic disease หรือ metabolic disorder ซึ่งในสัตว์มีหลายโรค เช่น คีโตสิส (ketosis) ซึ่งเกิดจากการขาดพลังงานและไข้ขน (milk fever) ซึ่งเกิดจากการมีแคลเซียมในเลือดต่ำ เป็นต้น

สรุปการเมแทบอไลซ์คาร์โบไฮเดรต

กลูโคสจะถูกเมแทบอไลซ์ให้เป็นไพรูเวทและแลคเตทโดยผ่านวิถีไกลโคไลสิส ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ไม่ต้องใช้ออกซิเจน (anaerobic) และเกิดได้ในทุกเซลล์ของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ในการนี้กลูโคสจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกลูโคส -6-ฟอสเฟต ก่อน ปฏิกิริยาการเติมหมู่ฟอสเฟตเรียกว่า ฟอสโฟริเลชั่น (phosphorylation) อาศัยเอนไซม์เฮกโซไคเนส (hexokinase)

ในเนื้อเยื่อที่ใช้ออกซิเจน (aerobic) จะเปลี่ยนไพรูเวทให้เป็นอะเซติลโคเอ แล้วเข้าวัฏจักรซิตริก เพื่อเผาผลาญให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำต่อไป รีดิวซิ่งอิควิวาเลนท์ (reducing equivalents) ที่เกิดขึ้น เช่น NADH และ FADH จะถูกเปลี่ยนเป็น ATP โดยกระบวนการออกซิเดทีฟ-ฟอสฟอรีเลชั่น (oxidative phosphorylation) ในลูกโซ่ของการหายใจ ดังนั้นจึงจัดได้ว่ากลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในเนื้อเยื่อหลายชนิด โดยเฉพาะอย่างยิ่งเนื้อเยื่อสมอง

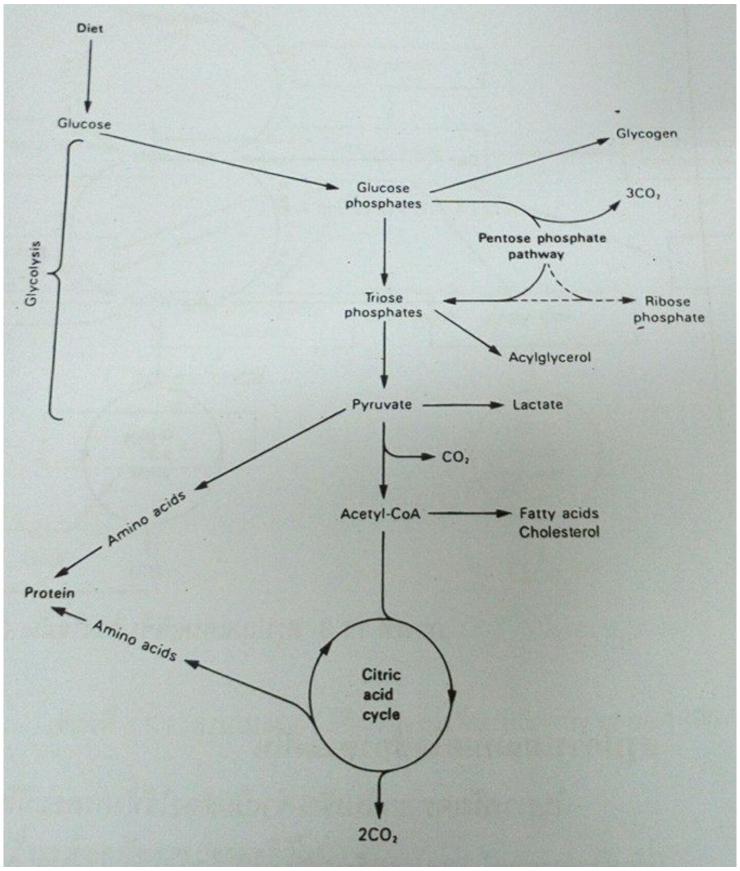
กลูโคสอาจถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการอื่น เช่น

1. เปลี่ยนเป็นไกลโคเจน ซึ่งเป็นแหล่งสะสมพลังงานในกล้ามเนื้อและตับ

2. ถูกเผาผลาญโดยวิถีเพนโทสฟอสเฟต (pentose phosphate) ได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานเช่นกัน วิถีนี้มีความสำคัญในแง่ที่สร้าง NADPH ซึ่งจำเป็นสำหรับการสังเคราะห์กรดไขมัน และสร้างน้ำตาลไรโบสเพื่อสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก รวมทั้งช่วยกำจัดอนุมูลอิสระในร่างกายเป็นต้น

3. เปลี่ยนเป็น triose phosphate เพื่อสร้างกลีเซอรอลและไขมัน ตามลำดับ

ไพรูเวทและตัวกลางจากวัฏจักรซิตริกสามารถใช้เป็นโครงคาร์บอน (carbon skeleton) เพื่อสังเคราะห์กรดอะมิโนได้ ในขณะเดียวกันอะเซติลโคเอที่เกิดขึ้นก็สามารถใช้สังเคราะห์กรดไขมันสายยาว และโคเลสเตอรอลซึ่งเป็นสารต้นตอที่ใช้ในการสังเคราะห์สเตอรอลอื่นๆ ต่อไป



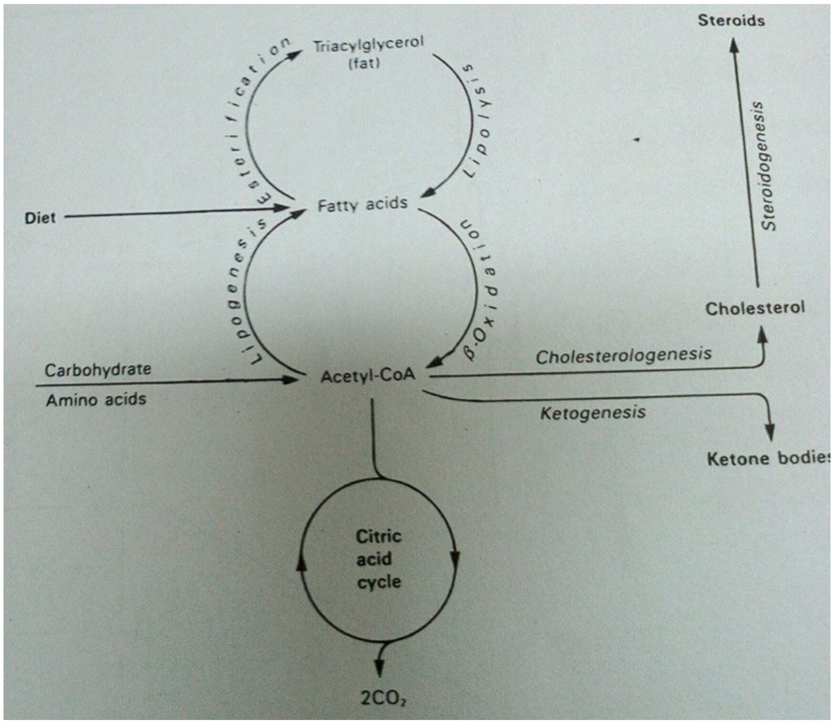
ภาพที่ 12.2 สรุปเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Murray *et al*, 1996)

สรุปการเมแทบอไลซ์ไขมัน

กรดไขมันสายยาวจะถูกสร้างจากอะเซติลโคเอ โดยกระบวนการสร้างขึ้นใหม่ (de novo synthesis) หรือจากไขมันในอาหาร (dietary lipid) โดยการต่อสายให้ยาวขึ้น (elongation of fatty acids) ก็ได้

ในเนื้อเยื่อ กรดไขมันอาจถูกนำไปสังเคราะห์เป็นไขมันสะสมไว้ในร่างกาย โดยกระบวนการ esterification หรืออาจถูกสลายให้เป็นอะเซติลโคเอ โดยกระบวนการเบต้าออกซิเดชั่นก็ได้ อะเซติลโคเอที่เกิดขึ้นอาจจะถูกเปลี่ยนแปลงได้หลายทาง คือ

1. ถูกเผาผลาญให้เป็น CO_2 น้ำ และพลังงาน โดยผ่านวัฏจักรซิตริกเช่นเดียวกับในกรณีของคาร์โบไฮเดรต จะเห็นได้ว่าการเผาผลาญไขมันได้พลังงานทั้งในขั้นตอนของเบต้าออกซิเดชั่นและวัฏจักรซิตริก ดังนั้นไขมันจึงจัดเป็นแหล่งพลังงานที่มีประสิทธิภาพ
2. ใช้ในการสร้างโคเลสเตอรอล
3. สร้างเป็นสารคีโตน ซึ่งสามารถเผาผลาญให้เป็นพลังงานได้บ้างในสภาพที่ขาดอาหาร



ภาพที่ 12.3 สรุปเมแทบอลิซึมของไขมัน (Murray *et al*, 1996)

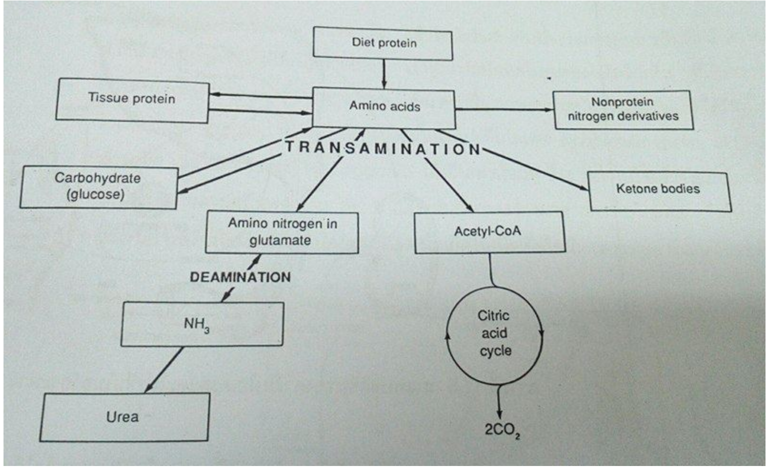
สรุปการเมแทบอไลซ์กรดอะมิโน

ในการสังเคราะห์โปรตีน จำเป็นต้องใช้ทั้งกรดอะมิโนชนิดที่จำเป็นและไม่จำเป็น กรดอะมิโนที่จำเป็นร่างกายไม่สามารถสังเคราะห์ได้ จำเป็นต้องได้รับจากอาหาร ส่วนกรดอะมิโนชนิดที่ไม่จำเป็นนั้นสามารถสร้างได้จากกรดอะมิโนชนิดอื่นๆ หรือตัวกลางอื่น โดยกระบวนการย้ายหมู่อะมิโน (transamination)

กรดอะมิโนที่ร่างกายไม่ต้องการจะถูกกำจัดหมู่อะมิโนออกโดยปฏิกิริยาดีอะมิเนชั่น (deamination) แล้วหมู่อะมิโนนั้นจะถูกเปลี่ยนให้เป็นยูเรีย สำหรับโครงคาร์บอนที่เหลืออยู่อาจถูกเปลี่ยนแปลงดังนี้:-

1. เผาผลาญให้เป็น CO_2 น้ำ และพลังงานโดยวัฏจักรซิตริก
2. นำไปสร้างกลูโคส (gluconeogenesis)
3. สร้างเป็นสารคีโตน แต่เกิดขึ้นน้อยมาก

นอกจากนี้กรดอะมิโนยังใช้เป็นสารต้นตอในการสังเคราะห์สารที่สำคัญได้อีกหลายชนิด เช่น พิวีน ไพริมิดีน ฮอร์โมนเอพิเนฟริน (epinephrine) และไธรอกซีน (thyroxine) เป็นต้น



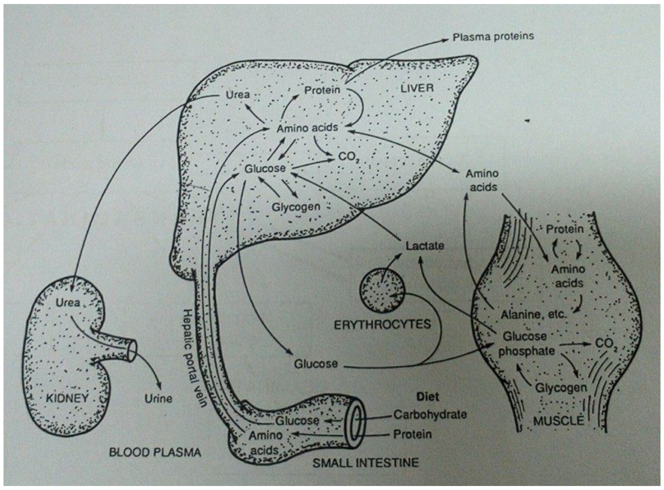
ภาพที่ 12.4 สรุปเมแทบอลิซึมของโปรตีน (Murray *et al*, 1996)

อวัยวะหลักที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึม

การเมแทบอไลซ์สารต่างๆ ในร่างกาย มักเกิดในอวัยวะหลัก 3-4 ชนิด คือ ตับ กล้ามเนื้อ ไต และเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ดังสรุปไว้ในภาพที่ 12.5 และ 11.6

จากภาพที่ 12.5 จะเห็นได้ว่า โปรตีนที่สัตว์กินเข้าไป เมื่อถูกย่อยในกระเพาะแท้และลำไส้เล็กได้เป็นกรดอะมิโนแล้ว กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้าสู่เส้นเลือดดำใหญ่ที่ส่งไปยังตับ (hepatic portal vein) ที่ตับ กรดอะมิโนอาจถูกนำไปสร้างเป็นโปรตีน หรือถูกจำกัดหมู่อะมิโนออก (deamination) แล้วเปลี่ยนเป็นยูเรีย ส่งไปยังไตแล้วขับออกทางปัสสาวะ โครงคาร์บอน (carbon skeleton) ที่เหลือของกรดอะมิโนอาจถูกนำไปสร้างเป็นกรดอะมิโนชนิดอื่น หรือถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคส หรือถูกเผาผลาญเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และพลังงานก็ได้

ในขณะเดียวกัน โปรตีนในอวัยวะต่างๆ จะมีการสลายตัวเป็นกรดอะมิโน ซึ่งอาจถูกเปลี่ยนเป็นกลูโคสเผาผลาญเป็นพลังงาน หรือถูกนำไปใช้สร้างเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นชนิดอื่นส่งไปยังอวัยวะต่างๆ ของร่างกาย เช่น กล้ามเนื้อเพื่อสร้างเป็นโปรตีนหรือถูกเมแทบอไลซ์ต่อไป



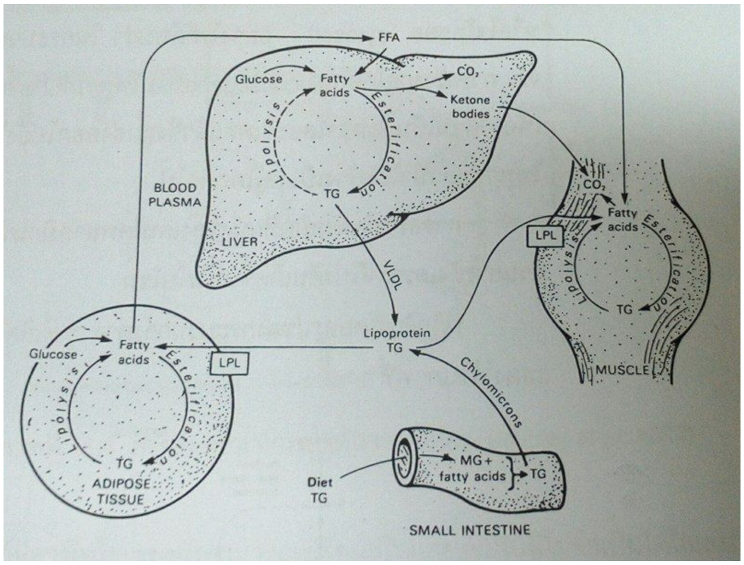
ภาพที่ 12.5 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนในอวัยวะต่างๆ (Murray *et al*, 1996)

คาร์โบไฮเดรตที่กินเข้าไป หลังจากที่ถูกย่อยในปากและลำไส้เล็กแล้ว จะถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กในรูปของน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว เช่น กลูโคส เข้าสู่เส้นเลือดดำใหญ่ที่ส่งไปยังตับ เช่นเดียวกับกรดอะมิโน โภชนะอื่นๆ ที่ละลายได้ในน้ำ (water soluble products) จะถูกส่งไปที่ตับเช่นเดียวกันตับนับว่าเป็นอวัยวะที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมมากที่สุดในร่างกาย มีหน้าที่ควบคุมความเข้มข้นของสารต่างๆ ในเลือดโดยเฉพาะอย่างยิ่งกลูโคสและกรดอะมิโน กล่าวคือ เมื่อมีกลูโคสในเลือดมากเกินไปจะถูกเปลี่ยนให้เป็นไกลโคเจนโดยกระบวนการไกลโคเจเนสิส (glycogenesis) หรือเปลี่ยนเป็นไขมันโดยกระบวนการไลโพเจเนสิส (lipogenesis) แต่ถ้ากลูโคสในเลือดมีระดับต่ำลง เช่น ในระหว่างมื้ออาหาร จะมีการสลายไกลโคเจนให้เป็นกลูโคส ซึ่งเรียกว่าไกลโคเจโนไลสิส (glycogenolysis) หรืออาจนำสารอื่นที่ไม่ใช่คาร์โบไฮเดรต (non-carbohydrate metabolites) เช่น แลคเตท กลีเซอรอล และกรดอะมิโนมาสร้างเป็นกลูโคส เรียกว่า กลูโคนีโอเจเนสิส (glycogenolysis) เพื่อรักษาระดับกลูโคสในเลือดให้คงที่ซึ่งนับว่าสำคัญมาก เพราะกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญต่ออวัยวะต่างๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมองและเม็ดเลือดแดง

กล้ามเนื้อ ใช้กลูโคสเป็นแหล่งพลังงานหลักโดยอาจเปลี่ยนเป็นแลคเตทหรือสลายตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ แต่มันอาจเก็บพลังงานไว้ในรูปของไกลโคเจนเพื่อนำมาสลายตัวให้เป็นพลังงานในยามที่ต้องการก็ได้ เช่น เพื่อการบีบตัวของกล้ามเนื้อ หรือเพื่อสังเคราะห์กรดอะมิโน เป็นต้น กล้ามเนื้อมีมวลประมาณ 50% ของมวลร่างกาย และเป็นแหล่งเก็บโปรตีนที่สำคัญ เมื่อยามที่ร่างกายขาดอาหาร จะสามารถนำโปรตีนในกล้ามเนื้อมาสลายเป็นกรดอะมิโนในเลือดได้

ไขมัน (ภาพที่ 12.6) เมื่อถูกย่อยที่ลำไส้เล็กให้เป็นโมโนเอซิลกลีเซอรอล (monoacylglycerol) และกรดไขมันแล้ว ในระหว่างการดูดซึมผ่านผนังลำไส้เล็กจะมีการสร้างไขมันขึ้นใหม่ (reesterification) ซึ่งไม่เหมือนของเดิม แล้วไขมันที่สร้างขึ้นนี้จะรวมตัวกับโปรตีนที่ผนังลำไส้เล็ก จากนั้นจะถูกดูดซึมผ่านระบบน้ำเหลือง เข้าสู่กระแสโลหิตในรูปของไลโพโปรตีน ที่เรียกว่าไคโลไมครอน (chylomicron) ซึ่งจะทำให้ขนส่งได้สะดวกขึ้น การเมแทบอไลซ์ไขมันอาจเกิดได้ในเนื้อเยื่อนอกตับ (extrahepatic tissue) ที่มีเอนไซม์ไลโพโปรตีนไลเพส (lipoprotein lipase, LPL)

เช่น ที่กล้ามเนื้อ เอนไซม์นี้จะย่อย triacylglycerol ให้เป็นกรดไขมัน ซึ่งอาจนำไปใช้สร้างไขมันในเนื้อเยื่อหรือนำไปเผาผลาญเป็นพลังงาน นอกจากนี้ไขมันยังอาจสร้างมาจากคาร์โบไฮเดรต หรือโปรตีนก็ได้ กระบวนการสร้างไขมันเรียกว่า ไลโพเจเนสิส มักเกิดในเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) และตับ



ภาพที่ 12.6 เมแทบอลิซึมของไขมันในอวัยวะต่างๆ (Murray *et al*, 1996)

ไขมันที่อยู่ในเนื้อเยื่อไขมันเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญในร่างกาย กระบวนการย่อยสลายไขมัน เรียกว่า ไลโพไลสิส (lipolysis) กรดไขมันที่ได้จะถูกส่งเข้าสู่ระบบหมุนเวียนเพื่อไปยังอวัยวะต่างๆ (ยกเว้นสมองและเม็ดเลือดแดง) มันอาจถูกนำไปสร้างเป็นไขมันโดยกระบวนการ esterification หรืออาจถูกเผาผลาญเป็นพลังงานและ CO_2 ซึ่งกระบวนการนี้เกิดในตับด้วย ไขมันที่ตับสร้างขึ้นจะไม่ถูกเก็บสะสมไว้ แต่จะถูกส่งไปตามกระแสเลือด โดยรวมกับฟอสโฟลิพิด คอเลสเตอรอล และอะโพโปรตีนได้เป็นไลโพโปรตีนที่มีความหนาแน่นต่ำมาก (very low density lipoprotein, VLDL) ซึ่งจะถูกเปลี่ยนแปลงต่อไปเช่นเดียวกับไคโลไมครอน

กรดไขมันบางส่วนอาจถูกสร้างเป็นสารคีโตน ซึ่งกระบวนการสร้างเรียกว่า คีโตเจเนสิส (ketogenesis) สารนี้จะถูกส่งไปยังเนื้อเยื่อนอกตับ เพื่อใช้เป็นแหล่งพลังงานได้บ้าง แต่ถ้าเกิดมาก เช่น ในโคที่ให้นมสูงโดยเฉพาะตอนช่วงต้นของแลคเตชั่น หรือในแม่แกะที่อุ้มท้องแฝดตอนใกล้คลอด จะมีผลเสียต่อสุขภาพและสมรรถภาพการผลิตของสัตว์

ส่วนของเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึม

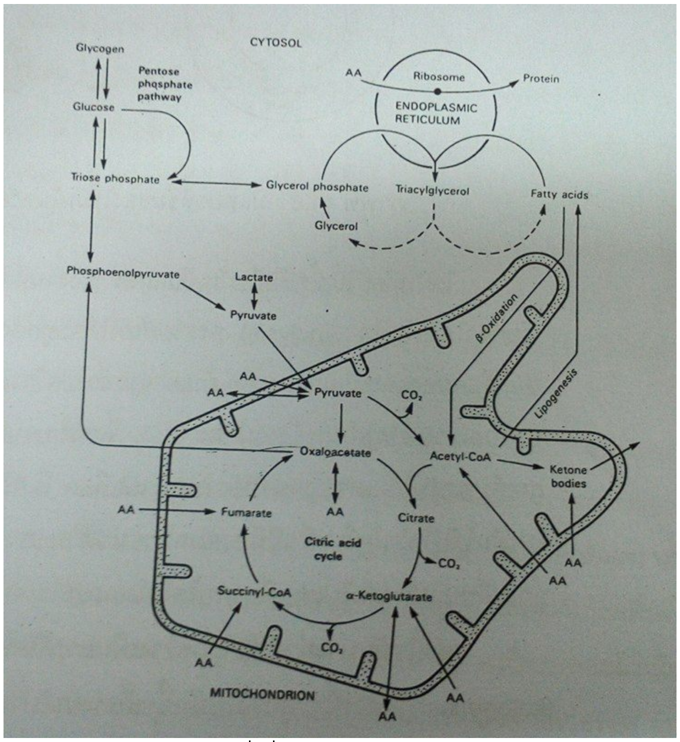
กระบวนการเมแทบอลิซึมของโภชนะหลักเกิดขึ้นในส่วนต่างๆ ของเซลล์ ไมโตคอนเดรีย หรือไมโตคอนดริออน (mitochondrion) นับว่าเป็นส่วนที่สำคัญเพราะมีการสร้างเอนไซม์ที่ใช้ในวัฏจักรเครบส์ ในลูกโซ่การหายใจ ในกระบวนการสร้าง ATP (ATP synthase) เช่น การสลายตัวของกรดไขมัน (β-oxidation) และการสร้างสารคีโตน เป็นต้น นอกจากนี้มันยังเป็นที่รวบรวมโครง

คาร์บอน (carbon skeleton) ของกรดอะมิโนที่ถูกย้ายหมู่อะมิโนออกไป (transamination) เพื่อนำโครงนี้ไปใช้เป็นแหล่งพลังงานหรือใช้ในการสังเคราะห์กรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นต่อไป

สำหรับวิถีไกลโคไลสิส วิถีเพนโทสฟอสเฟต และการสังเคราะห์กรดไขมันเกิดขึ้นในไซโทพลาซึมหรือไซโทซอล (cytosol) อย่างไรก็ดี พบว่า ในกระบวนการบางอย่างเกิดปฏิกิริยาในทั้ง 2 แหล่ง เช่น การสร้างกลูโคส (gluconeogenesis) ไพรูเวทที่เกิดขึ้นในไซโทซอลจะต้องเข้ามาในไมโตคอนเดรียเพื่อเปลี่ยนเป็นออกซาโลอะซิเตทแล้วจึงถูกส่งออกไปยังไซโทซอล เพื่อเปลี่ยนเป็นฟอสโฟอินอลไพรูเวทแล้วนำไปสร้างเป็นกลูโคสต่อไป

การสร้างไขมันเกิดที่ผนังของเอนโดพลาสมิกเรติคิวลั่ม เพราะมีการสร้างเอนไซม์ที่นั่น ส่วนการสังเคราะห์โปรตีนเกิดขึ้นที่ไรโบโซม

ปฏิกิริยาโดยสรุปของกระบวนการต่างๆ ที่เกิดในองค์ประกอบของเซลล์ตำแหน่งต่างๆ กัน แสดงไว้ในภาพที่ 12.7

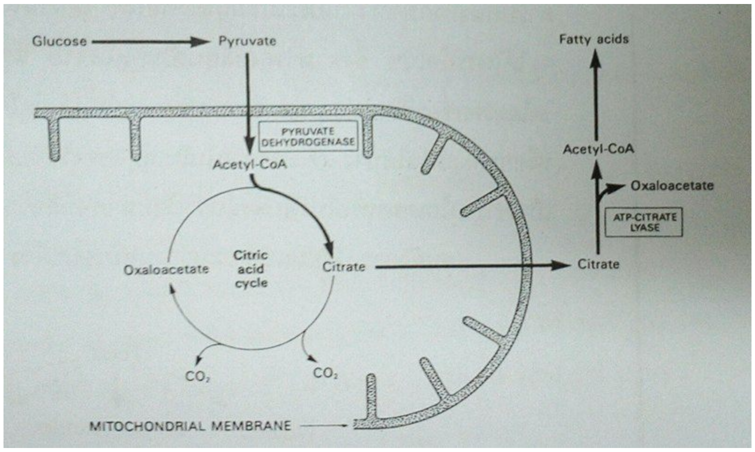


ภาพที่ 12.7 ตำแหน่งต่างๆ ภายในเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับเมแทบอลิซึมของโภชนะหลัก (Murray *et al*, 1996)

การเปลี่ยนกลุ่มโภชนะหลัก

โภชนะที่ร่างกายย่อยและดูดซึมเข้าไปสามารถที่จะสลายแล้วนำไปสร้างเป็นโภชนะหมวดเดียวกัน หรือต่างหมวดกันก็ได้ เช่น เมื่อสัตว์ได้รับคาร์โบไฮเดรตมากเกินพออาจจะเปลี่ยนเป็นไขมันได้ โดยกลูโคสเปลี่ยนเป็นไพรูเวทในไซโทซอล แล้วผ่านเข้าผนังไมโตคอนเดรียเปลี่ยนเป็นอะเซติลโคเอ ซึ่งจะถูกเปลี่ยนเป็นซิเตรทตามลำดับ ซิเตรทสามารถผ่านเข้าออกจากผนังของไมโตคอนเดรียได้ ดังใน

ภาพที่ 12.8 ที่ไซโทพลาสซึม ซิเตรทจะถูกเปลี่ยนกลับไปเป็นอะเซติลโคเออีกครั้งหนึ่ง เพื่อนำไปใช้สร้างเป็นกรดไขมัน จะเห็นได้ว่าเมื่อกินคาร์โบไฮเดรตมากสามารถทำให้อ้วนได้



ภาพที่ 12.8 การสังเคราะห์กรดไขมันจากกลูโคส (Murray *et al*, 1996)

นอกจากนี้คาร์โบไฮเดรตยังสามารถเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนที่ไม่จำเป็นได้โดยเปลี่ยนเป็น 3-phosphoglycerate, pyruvate, α-ketoglutarate และ oxaloacetate ซึ่งเป็นตัวกลางในวิถีไกลโคไลสิส และวัฏจักรเครบส์ แล้วเปลี่ยนเป็นกรดอะมิโนโดยอาศัยกระบวนการย้ายหมู่อะมิโนเข้าช่วย

โปรตีนสามารถเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตได้ โดยกรดอะมิโนประเภทกลูโคเจนิกจะถูกกำจัดหรือย้ายหมู่อะมิโนออกได้เป็น α-ketoglutarate, succinyl CoA, oxaloacetate ซึ่งสามารถนำไปสร้างเป็นกลูโคสได้โดยเปลี่ยนเป็น phosphoenolpyruvate แล้วย้อนวิถีไกลโคไลสิส ส่วนกรดอะมิโนประเภทคีโตเจนิกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นอะซิโตอะซิเตท ซึ่งจะถูกเมแทบอไลซ์เป็นสารคีโตน

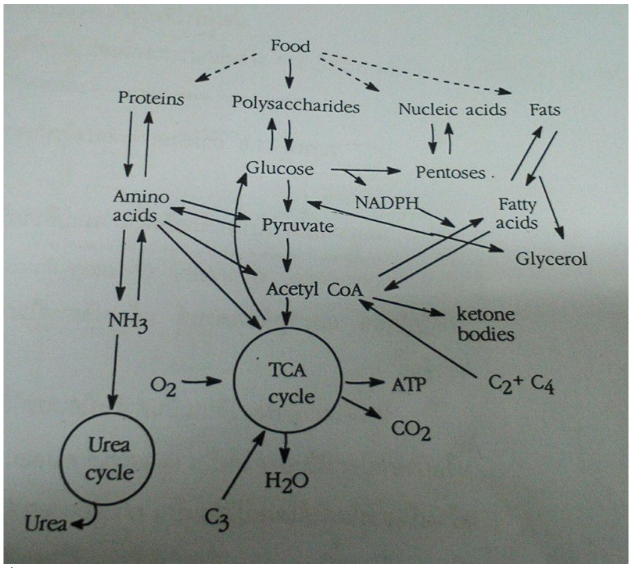
นอกจากนี้ โปรตีนยังอาจเปลี่ยนเป็นไขมันได้โดยโครงสร้างคาร์บอนของกรดอะมิโนประเภทกลูโคเจนิก จะถูกเปลี่ยนให้เป็นไพรูเวทและอะเซติลโคเอตามลำดับ หรือเปลี่ยนจากแอลฟ่าคีโตกลูตาเรตไปเป็นซิเตรท โดยย้อนปฏิกิริยา non mitochondrial citric acid cycle ซิเตรทจะถูกส่งออกจากไมโตคอนเดรียไปยังไซโทพลาซึม แล้วถูกเปลี่ยนเป็นอะเซติลโคเอ ซึ่งจะนำไปใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมันเช่นเดียวกับกรณีของคาร์โบไฮเดรต ดังในภาพ 11.8 ที่กล่าวมาแล้ว

อย่างไรก็ดี ในธรรมชาติ เช่น ตอนอดอาหาร กาสลายโปรตีน และกรดอะมิโนเพื่อใช้เป็นพลังงาน มักจะเกิดร่วมกับการสลายตัวของไขมันอยู่แล้ว เพราะฉะนั้นการเปลี่ยนจากกรดอะมิโนไปเป็นไขมันจึงไม่ค่อยเกิดขึ้น ยกเว้นในกรณีที่สัตว์ได้รับอาหารที่มีโปรตีนสูงมาก จึงอาจนำไปสร้างเป็นไขมัน ทำให้สัตว์อ้วนได้

สำหรับไขมันถือว่าไม่สามารถเปลี่ยนเป็นคาร์โบไฮเดรตและโปรตีนได้ ทั้งนี้เพราะปฏิกิริยาการเปลี่ยนไพรูเวทให้เป็นอะเซติลโคเอไม่สามารถย้อนกลับ จึงทำให้อะเซติลโคเอซึ่งเกิดจากการสลายตัวของกรดไขมันไม่สามารถเปลี่ยนเป็นไพรูเวท เพื่อสร้างกลูโคสหรือเปลี่ยนเป็นสายโซ่คาร์บอนของกรดอะมิโนประเภทกลูโคเจนิกได้ ยกเว้นในกรณีไขมันที่เป็นเลขคี่ ซึ่งเมื่อสลายตัวแล้วจะได้โพรพิโอเนท ซึ่งสามารถเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้ สำหรับกลีเซอรอลนั้นสามารถที่จะเปลี่ยนเป็นไดไฮดรอกซีอะซิโตนฟอสเฟต ซึ่งจะเปลี่ยนต่อไปเป็นกลูโคสหรือไพรูเวทได้ จึงอาจสร้างคาร์โบไฮเดรตหรือ

กรดอะมิโนได้บ้าง แต่เนื่องจากในโมเลกุลของไขมันมีกลีเซอรอลอยู่น้อย ดังนั้นการเปลี่ยนไขมันเป็นคาร์โบไฮเดรตหรือโปรตีนจึงนับว่าน้อยมากจนถือว่าเปลี่ยนไม่ได้

แผนผังการเปลี่ยนแปลงระหว่างมหโภชนะต่างๆ พอสรุปได้ดังภาพที่ 12.9



ภาพที่ 12.9 การเปลี่ยนกลุ่มของโภชนะหลัก

บรรณานุกรม

Garrett, R. H. and C. M. Grisham. 1995. Biochemistry. International Edition. Saunders Collage Publishing, Harcourt Brace Collage Publishers, New York.

Murray, R. K., D. K. Granner, P.A. Mayers and V. W. Rodwell. 1996. Haper's Biochemistry. 24th Ed. Appleton & Lange, Stamford, Connecticut.

National Research Council. 1988. Nutrient requirements of Dairy Cattle. 6th Ed. National Academy Press, Washington, DC.

Rook, J. A. F. and P. C. Thomas. 1983. Nutritional physiology of farm animals. Longman Inc., New York.

Starr, C. 1994. Biology Concepts and Applications. 22nd Ed. Wadworth Publishing Company, California.

Stryer, L. 1988. Biochemistry. 3rd Ed. W.H. Freeman & Co., New York.

Voet, D. and J. G. Voet. 1995. Biochemistry. 2nd Ed. John Willey & Son, Inc., New York.

Zubay, G. 1993. Biochemistry. 3rd Ed. Wm. C. Brown Publishers, Oxford.