

หน่วยที่ 2

สารชีวโมเลกุลและเมแทบอลิซึม

2.1 ธาตุและสารประกอบ

ธาตุ (Element) คือ สารบริสุทธิ์ที่ประกอบด้วยอะตอม (Atom) เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ไม่สามารถแยกออกเป็นองค์ประกอบย่อยๆ เช่น Li , Mg , Al , K , He จะเห็นได้ว่า สารเหล่านี้มีอะตอมเพียงชนิดเดียวเท่านั้น แต่จำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบมีได้ไม่จำกัดจำนวน ภายในอะตอมประกอบด้วยอนุภาคที่สำคัญ 3 ชนิด ได้แก่ โปรตอน นิวตรอน และอิเล็กตรอน

เนื่องจากธาตุมีจำนวนมากมาย ดังนั้นเพื่อความสะดวกนักวิทยาศาสตร์ได้จัดเรียงเป็นตารางธาตุที่เรียกว่า ตารางพีริออดิก (Periodic table) ซึ่งแบ่งธาตุออกเป็น 2 หมู่ใหญ่ คือ หมู่ A และหมู่ B แต่ละหมู่จะแบ่งออกเป็นหมู่ย่อยๆ ดังนี้

- หมู่ A ธาตุรีฟิเชนเททิฟ (Representative elements) แบ่งเป็นหมู่ IA, IIA, IIIA, IVA, VA, VIA, VIIA และVIII A(O)

- หมู่ B ธาตุทรานสิชัน (Transition elements) แบ่งเป็นหมู่ IB, IIB, IIIB, IVB,.....VIII B (มี 3 หมู่ย่อย)

สารประกอบ (Compounds) คือ สารบริสุทธิ์เนื้อเดียวที่เกิดจากการนำธาตุหรือสารประกอบมาทำปฏิกิริยากันในตอนเริ่มต้นตัวอย่างสูตรสารประกอบ เช่น HCl, Fe, C₆H₁₂O₆ จะเห็นว่าสูตรของสารประกอบดังกล่าวจะมีจำนวนอะตอมของธาตุองค์ประกอบตั้งแต่ 2 อะตอมขึ้นไป และจะมีอัตราส่วนองค์ประกอบที่คงที่แน่นอน

2.1.1 ธาตุโลหะ อโลหะ กึ่งโลหะ

สมบัติของธาตุบางอย่างสามารถนำมาเป็นเกณฑ์ในการแบ่งธาตุเป็น โลหะ อโลหะ และ กึ่งโลหะ สมบัตินั้นได้แก่ ความเป็นมันวาว การนำความร้อน จุดหลอมเหลว จุดเดือด การนำไฟฟ้า ความหนาแน่น ความเหนียว สมบัติของสารออกไซด์ เป็นต้น จากการศึกษาพบว่า โลหะ อโลหะ และ กึ่งโลหะมีสมบัติต่างกันดังนี้

โลหะ (Metals)

- ส่วนใหญ่มีสถานะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ยกเว้นปรอท (Hg)
- เป็นตัวนำไฟฟ้าและความร้อนที่ดี
- มีความมันวาว
- จุดหลอมเหลวและจุดเดือดสูง ยกเว้นปรอท
- ส่วนใหญ่มีความหนาแน่นสูง ยกเว้นหมู่ IA และ IIA
- มีความแข็งและเหนียว
- จะสูญเสีย e เมื่อเกิดปฏิกิริยากับอโลหะ

ในธรรมชาติโลหะอาจอยู่ในรูปของธาตุหรือสารประกอบในสินแร่ ขึ้นกับเสถียรภาพและความว่องไวในการเกิดสารประกอบ ธาตุเรฟรีเซนเทฟที่ที่เป็นโลหะมักอยู่ในรูปออกไซด์ (-O)คาร์บอเนต (-CO₃) ซัลไฟด์ (-S) ซัลเฟต(-SO₄) หรือคลอไรด์ (-Cl)

อโลหะ (Non-metal)

- มีทั้ง 3 สถานะที่อุณหภูมิห้อง เช่น คลอรีน (Cl) เป็นแก๊ส โบรมีน(Br) เป็นของเหลว และไอโอดีน (I) เป็นของแข็ง
- เป็นตัวนำความร้อนและไฟฟ้าที่ไม่ดี ยกเว้นคาร์บอนในรูปของแกรไฟต์
- ไม่มีความมันวาว
- จุดหลอมเหลวและจุดเดือดต่ำ ยกเว้นคาร์บอนในรูปเพชรและแกรไฟต์
- ความหนาแน่นต่ำ
- มีความแข็งแต่เปราะ เช่น คาร์บอน (C)
- หลายธาตุปรากฏเป็น diatomic moleculeจะรับ เมื่อเกิดปฏิกิริยากับโลหะ แต่จะร่วมกันใช้ (share) e เมื่อทำปฏิกิริยากับอโลหะ

กึ่งโลหะ (Metalloid)

- ทำตัวเป็นโลหะ เมื่อทำปฏิกิริยากับอโลหะ
- ทำตัวเป็นอโลหะ เมื่อทำปฏิกิริยากับโลหะ
- มีสมบัติเป็นสารกึ่งตัวนำ (semiconductor)

2.1.2 สารประกอบกรด เบสเกลือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์

กรด

กรด(Acid) คือสารประกอบที่ละลายน้ำแล้วแตกตัวให้ไฮโดรเจนไอออน (อะตอมที่เสียหรือได้รับอิเล็กตรอน) และอนุมูลกรด แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. กรดอินทรีย์ หมายถึงกรดที่มีหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) เป็นหมู่ฟังก์ชัน เป็นกรดที่มีอยู่ในธรรมชาติหรือได้จากสิ่งมีชีวิต เช่น กรดฟอร์มิก (HCOOH) กรดอะซิติก (CH₃COOH) กรดเบนโซอิก (C₆H₅COOH) เป็นต้น
2. กรดอนินทรีย์ หมายถึงกรดที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ
 - 2.1 กรดไฮโดร (Hydro acid) คือกรดที่ประกอบด้วยธาตุไฮโดรเจนและอโลหะอื่นโดยไม่มีธาตุออกซิเจนรวมอยู่ด้วย เช่น

HF = กรดไฮโดรฟลูออริก

HCl = กรดไฮโดรคลอริก

HBr = กรดไฮโดรโบรมิก

HI = กรดไฮโดรไอโอดิก

H₂S = กรดไฮโดรซัลฟิวริก

HCN = กรดไฮโดรไซยานิก

2.2 กรดออกซีหรือกรดออกโซ (Oxy acid or Oxo acid) คือกรดที่ประกอบด้วยธาตุ ไฮโดรเจน ออกซิเจนและโลหะอื่น เช่น (ตารางที่ 2-1)

ตารางที่ 2-1 ตัวอย่างกรดออกซี

สูตรเคมี	ชื่อสามัญ	ชื่อระบบ IUPAC
H_2SO_3	กรดซัลฟูรัส	กรดไดรอกโซซัลฟูริก
H_2SO_4	กรดซัลฟูริก	กรดเตตระออกโซซัลฟูริก
HNO_2	กรดไนตริก	กรดไดออกโซไนตริก
HNO_3	กรดไนตริก	กรดไตรออกโซไนตริก
H_3PO_3	กรดฟอสฟอรัส	กรดไดรอกโซฟอสฟอริก
H_3PO_4	กรดฟอสฟอริก	กรดเตตระออกโซฟอสฟอริก

เบส

เบส (Base) แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. เบสอินทรีย์ หมายถึงเบสที่อยู่ในธรรมชาติ หรือได้จากสิ่งมีชีวิตได้แก่ สารประกอบประเภทเอมีน เช่น $\text{CH}_3\text{-NH}_2$, $\text{C}_6\text{H}_5\text{NH}_2$, $(\text{CH}_3)_2\text{NH}$ เป็นต้น
2. เบสอนินทรีย์ หมายถึง เบสที่เกิดจากสิ่งไม่มีชีวิต เบสพวกนี้ได้แก่ สารประกอบออกไซด์ (Oxide) และไฮดรอกไซด์ (Hydroxide) เช่น Na_2O , NaOH , KOH , Ca(OH)_2 เป็นต้น

เกลือ

เกิดจากไอออนของโลหะรวมกับอนุมูลกรด เช่น

NaCl = โซเดียมคลอไรด์

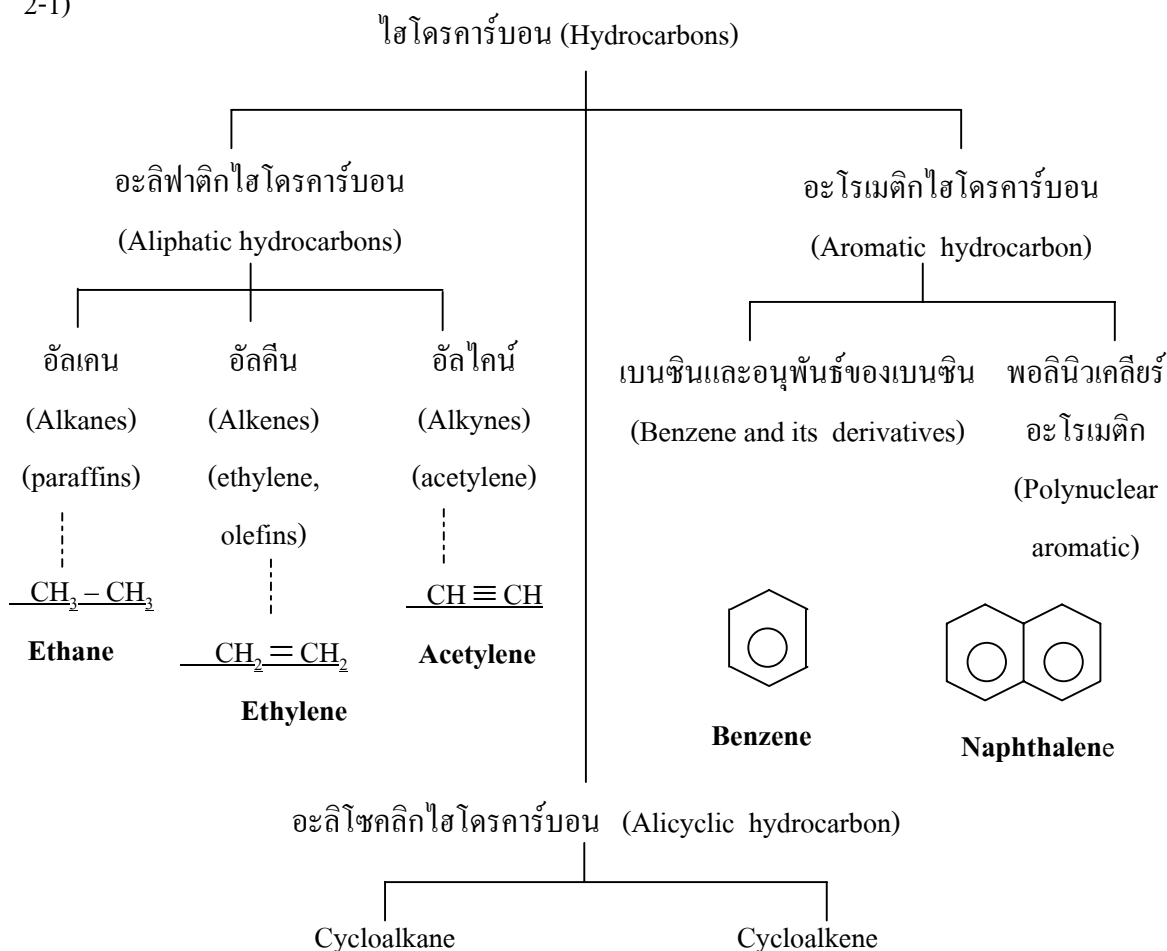
K_2SO_4 = โพแทสเซียมซัลเฟต

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนและอนุพันธ์

สารประกอบไฮโดรคาร์บอน

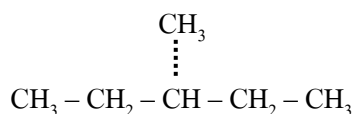
สารประกอบไฮโดรคาร์บอน (Hydrocarbon compound) คือสารที่ประกอบด้วยคาร์บอนและไฮโดรเจนเท่านั้น โมเลกุลของสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอาจเป็นโมเลกุลใหญ่และซับซ้อน เช่น แครโทีน เป็นสารสีส้มที่มีอยู่ในมะละกอสด หรืออาจเป็นโมเลกุลเล็ก ๆ เช่น มีเทน ซึ่งเป็นแก๊สที่ติดไฟง่ายในน้ำมันปิโตรเลียมก็มีไฮโดรคาร์บอนปนกันอยู่หลายชนิด ซึ่งเมื่อนำไปกลั่นลำดับส่วนจะได้ไฮโดรคาร์บอนหลายชนิดแยกออกมาเป็นส่วน ๆ ตามจุดเดือด บางส่วนนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง ซึ่งเมื่อเกิดการเผาไหม้จะได้พลังงานที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมและการดำรงชีวิตประจำวัน

สารประกอบไฮโดรคาร์บอนจัดเป็นสารประกอบหลักในเคมีอินทรีย์ ซึ่งมีมากมายหลายชนิด ถ้าใช้ลักษณะการเชื่อมต่อของคาร์บอนว่าจะเกิดวงหรือไม่จะจำแนกได้ 3 ประเภท ดังแผนภาพ (ภาพที่ 2-1)

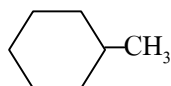


ภาพที่ 2-1 แสดงการจำแนกสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

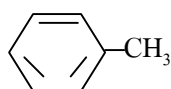
1. อะลิฟาติกไฮโดรคาร์บอน (aliphatic hydrocarbon) หรือ อะไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (acyclic hydrocarbon) ประกอบด้วยคาร์บอนที่ต่อกันเป็นโซ่เปิด เช่น



2. อะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (alicyclic hydrocarbon) หรือ ไซคลิกไฮโดรคาร์บอน (cyclic hydrocarbon) ประกอบด้วยคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวง 1 วง



3. อะโรมาติกไฮโดรคาร์บอน ประกอบด้วยคาร์บอนที่ต่อกันเป็นวงแหวน (วงของคาร์บอน 6 คาร์บอนต่อกันด้วยพันธะเดี่ยวสลับกับพันธะคู่) ได้แก่ เบนซีนและอนุพันธ์ของเบนซีน หรือมากกว่า เช่น



อัลเคน (Alkane)

อัลเคน หรือ The Paraffine เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวที่สามัญที่สุด เนื่องจากทุกอะตอมของคาร์บอนในโมเลกุลเกิดพันธะเดี่ยวบางที่เราเรียกอัลเคนอีกชื่อหนึ่งว่า Methane series of Hydrocarbon เพราะมีเทนเป็นสมาชิกตัวแรกของสารประกอบนี้

สารประกอบอัลเคนมีสูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ ($n = 1, 2, 3, 4, \dots$) ซึ่งสารทุกชนิดเรียกตามจำนวนอะตอมของ C แต่จะลงท้ายด้วย-เอน (-ane) เช่น มีเทนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนอิ่มตัวชนิดแรก มีสถานะเป็นแก๊ส เกิดตามบริเวณที่มีโคลนตมหรือน้ำมันดิบ บิวเทนเป็นแก๊สที่ใช้หุงต้มตามบ้านเรือน และยังมีสารอื่นๆ อีกดังตัวอย่างในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 แสดงผลิตภัณฑ์จากการกลั่นปิโตรเลียม

อัลเคน	ชื่อสารที่กลั่นได้	ประโยชน์
CH ₄ C ₂ H ₆ C ₂ H ₆ C ₃ H ₈ C ₄ H ₁₀	Natural gas (แก๊สธรรมชาติ)	ใช้เป็นเชื้อเพลิง
C ₅ H ₁₂ C ₆ H ₁₄	petroleum ether (อีเทอร์)	ใช้เป็นตัวทำละลายไขมันและน้ำมัน
C ₇ H ₁₆ C ₈ H ₁₈	gasoline (น้ำมันเบนซิน)	ใช้ในเครื่องยนต์ และใช้เป็นตัวทำละลาย
C ₉ H ₂₀ C ₁₄ H ₃₀	kerosine (น้ำมันก๊าด)	ใช้เป็นเชื้อเพลิง
C ₁₃ H ₃₂ C ₂₀ H ₄₂	Lubricating oil (น้ำมันเครื่องหรือน้ำมันหล่อลื่น)	ใช้เป็นน้ำมันหล่อลื่น
สูงกว่า C ₂₀ H ₄₂	Vaseline Paraffin Tar residue Petroleum coke	ใช้ทำยา เทียนไข ฉาบถนน ใช้เป็นเชื้อเพลิง แฉ่งคล้าย ถ่านหิน

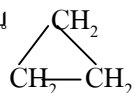
อัลเคนที่พบโดยทั่วไปและใช้เป็นเชื้อเพลิงส่วนใหญ่มาจากผลผลิตของการกลั่นปิโตรเลียม (สารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมักพบอยู่ในชั้นหินตะกอน Sedimentary rocks ทั้งในสภาพของแข็งของเหลว และก๊าซ) การกลั่นทำลายถ่านหิน หรือการเผาถ่านหินในที่ไม่มีอากาศ

เมื่อนำปิโตรเลียมมากลั่นลำดับส่วน (Fractional Distillation) จะได้อัลเคนที่มีโมเลกุลเล็กในสถานะแก๊สและของเหลวออกมาก่อนตามลำดับ เหลือของแข็งอยู่เป็นส่วนใหญ่ ทั้งนี้เนื่องจากจุดเดือดใกล้เคียงกัน ก็จะออกมาพร้อม ๆ กัน ดังแสดงในตารางที่ 2-2

ไซโคลอัลเคน (cycloalkane)

อัลเคนอาจจะมีโครงสร้างของโมเลกุลต่อกันเป็นวงจัดเป็นอะลิไซคลิกไฮโดรคาร์บอน มีสูตรทั่วไปเป็น C_nH_{2n}

ไซโคลอัลเคนตัวแรกได้แก่ ไซโคลโพรเพน (Cyclopropane) มีสูตรเคมี C_3H_6 สูตรโครงสร้างเป็น



หมู่อัลคิล (alkyl group)

อัลเคนที่ขาดไฮโดรเจนไปหนึ่งอะตอม เรียกว่า หมู่อัลคิล (alkyl group) โดยทั่วไปเขียนแทนหมู่นี้ด้วย R และเรียกชื่อหมู่นี้โดยตัด -ane ท้ายชื่อของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ออกแล้วเติม -yl ลงแทน เช่น $-CH_3$ = methyl group

อัลคีน (alkene)

อัลคีนเป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนชนิดที่ไม่อิ่มตัวด้วยไฮโดรเจน เนื่องจากโครงสร้างของอัลคีนอะตอมของคาร์บอนคู่หนึ่งจับกันอยู่ด้วยพันธะคู่ บางทีเรียกอัลคีนว่า The olefins ซึ่งหมายถึงการทำให้เกิดน้ำมัน เพราะเมื่ออัลคีนรวมตัวกับฮาโลเจน จะได้สารใหม่ที่มีลักษณะเป็นน้ำมันเกิดขึ้น หรือบางทีเรียกว่า The ethylene series เพราะเอทิลีนเป็นสมาชิกตัวแรกของสารประกอบชุดนี้

อัลคีน มีสูตรโมเลกุลทั่วไปเป็น C_nH_{2n} ($n = 2, 3, 4, 5 \dots$) ชื่อสารประกอบพวกนี้จะเรียกตามจำนวนอะตอมของ c แต่จะลงท้ายด้วย “ene” โดยบอกตำแหน่งของพันธะคู่ไว้ข้างหน้า และมีขีดกั้น เช่น



อัลไคน์ (Alkyne)

อัลไคน์ เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอนประเภทไม่อิ่มตัวเช่นเดียวกับอัลคีน เนื่องจากสูตรโครงสร้างประกอบด้วยพันธะสามหนึ่งแห่ง อัลไคน์มีสูตรทั่วไปเป็น การเรียกชื่อสารประกอบพวกอัลไคน์ เรียกเหมือนกับอัลคีนที่มีคาร์บอนเท่ากัน แต่เปลี่ยน “ene” เป็น “yne”

อนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน

อนุพันธ์ของสารประกอบไฮโดรคาร์บอน คือสารที่เกิดจากสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่สำคัญ ได้แก่

แอลกอฮอล์ (Alcohol)

แอลกอฮอล์เป็นสารอินทรีย์ที่ใช้มากในชีวิตประจำวัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทางการแพทย์และอุตสาหกรรม สูตรทั่วไปของแอลกอฮอล์คือ $R-OH$ เป็นอนุพันธ์ของอัลเคนโดยที่หมู่ $-OH$ เข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนในอัลเคน

การเรียกชื่อแอลกอฮอล์ เรียกเหมือนอัลเคนที่มีอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน แต่เปลี่ยน “e” เป็น “ol” เช่น

แอลกอฮอล์ตัวแรกมีคาร์บอนหนึ่งอะตอม คือ เมทานอล (Methanol) หรือเมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) มีสูตรเป็น $CH_3 OH$ มีความสำคัญมากในทางอุตสาหกรรม ใช้เป็นสารตั้งต้นในการเตรียมสารอื่น ใช้เป็นเชื้อเพลิง ใช้เป็นตัวทำละลายสารอินทรีย์ นอกจากนี้ช่างตัดผมยังมักจะใช้ชุบสำลีทาท้ายทอยหลังกันผมและทาตามผิวหนังภายหลังโกนแล้ว ซึ่งเป็นอันตรายอย่างมากเพราะเมทานอลถูกออกซิไดส์ได้ง่ายเป็น CH_3OH ซึ่งทำลายเนื้อเยื่อในร่างกายและทำลายประสาทตา ทำให้ตาบอดได้

เอทานอล (Ethanol) หรือ เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol) เป็นแอลกอฮอล์ที่มีคาร์บอนสองอะตอม มีสูตรเป็น C_2H_5OH เอทานอลมีความสำคัญมากจนเวลาเราพูดเพียงว่า “แอลกอฮอล์” เฉยๆ เรามักจะหมายถึง “เอทานอล” ไม่ได้หมายถึงแอลกอฮอล์ตัวอื่นอีกหลายชนิด เอทานอลเข้มข้นประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรคอย่างอ่อน ปกติ เวลาที่แพทย์หรือพยาบาลจะฉีดยามักจะเอาสำลีชุบสารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 70 % ทาบริเวณผิวหนังก่อนที่จะแทงเข็มฉีดยา เพื่อฆ่าเชื้อโรคหรือแบคทีเรียที่ผิวหนัง นอกจากนี้ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงได้อีกด้วย

อีเทอร์ (Ether)

อีเทอร์ คือสารประกอบอินทรีย์ซึ่งเป็นอนุพันธ์ของแอลกอฮอล์ โดยมีหมู่อัลคิลเข้าไปแทนที่ไฮโดรเจนในหมู่ฟังก์ชันนัลของแอลกอฮอล์ มีสูตรทั่วไปเป็น $R-O-R'$ ถ้า R และ R' เหมือนกัน เรียกว่า อีเทอร์อย่างง่าย (Simple ether) เช่น $CH_3 - O - CH_3$ แต่ถ้า R และ R' ต่างกัน เรียกว่า อีเทอร์เชิงซ้อน (Complex ether) เช่น $CH_3 - O - C_2H_5$

ถึงแม้จะมีอีเทอร์เป็นจำนวนมาก แต่เวลาที่แพทย์หรือนักเคมีเรียกว่า “อีเทอร์” มักจะหมายถึง “ไดเอทิลอีเทอร์” (Diethyl ether) ใช้เป็นยาสลบทางการแพทย์และใช้เป็นตัวทำละลายสารอินทรีย์ ไดเอทิลอีเทอร์มีจุดเดือดเพียง 34 องศาเซลเซียส จึงกลายเป็นไอได้ง่ายและรวดเร็ว

การเรียกชื่ออีเทอร์ เรียกเป็นอนุพันธ์แอลกอฮอล์ (Alkoxy) ของอัลเคน เช่น (ดูตารางที่ 2-3)

ตารางที่ 2-3 แสดงการเรียกชื่ออีเทอร์

การเรียกชื่ออีเทอร์	การเรียกชื่อหมู่ alkoxy
$\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ methoxy methane	$\text{CH}_3\text{-O-}$ methoxy
$\text{CH}_3\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$ methoxy ethane	$\text{C}_2\text{H}_5\text{-O-}$ ethoxy
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_2\text{-CH}_3$ ethoxy propane	$\text{C}_3\text{H}_7\text{-O-}$ propoxy
$\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-O-CH}_2\text{-CH}_3$ propane ethoxy	$\text{C}_4\text{H}_9\text{-O-}$ butoxy

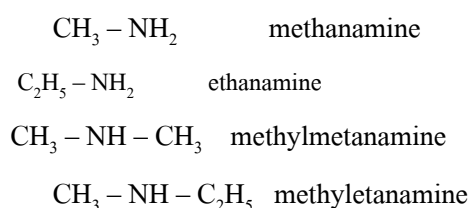
อีเทอร์ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ไดเอทิลอีเทอร์ร่วมกับไขมันและเยื่อหุ้มเซลล์ประสาทต่างๆ ได้ง่ายมาก จึงใช้เป็นยาสลบได้ดี ยาสลบนี้เมื่อเข้าไปเต็มปอด โมเลกุลของยาสลบบางส่วนจะซึมเข้าเส้นเลือดสู่เนื้อเยื่อส่วนต่างๆ ของร่างกาย และจะสะสมอยู่ที่เยื่อหุ้มใยประสาท เมื่อเยื่อหุ้มใยประสาทมีโมเลกุลเหล่านี้อยู่เต็มประสาทจะหยุดทำงาน สมอก็จะไม่รับรู้สิ่งที่ประสาทส่งมาอีกต่อไป คนไข้จะหมดสติแพทย์จึงเริ่มผ่าตัด เมื่อคนไข้หายใจเอาอากาศเข้าไป ยาสลบจะค่อยๆ ซึมออกจากเยื่อหุ้มใยประสาทกลับเข้าสู่ปอด และออกนอกร่างกาย หลังจากนั้นสักครู่หนึ่ง เยื่อหุ้มใยประสาทจะเป็นปกติ และคนไข้จะฟื้น

นอกจากนี้อีเทอร์ใช้เป็นตัวทำละลายสารอินทรีย์ เช่น ไดเอทิลอีเทอร์ ละลายไขมันได้ง่าย จึงใช้สกัดไขมันออกจากของผสมอื่น ๆ เรียกว่า การสกัดด้วยอีเทอร์ (ether extraction) แต่ไดเอทิลอีเทอร์ติดไฟง่ายเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้จำนวนมาก ๆ ดังเช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมจะใช้หัวทำละลายอีเทอร์ที่มีสูตรซับซ้อนขึ้น เช่น เซลโลโซลน์ (Cellosolne)

เอมีน (Amine)

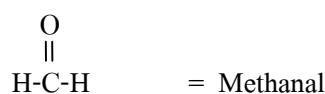
อะลิฟาติกเอมีน เป็นอนุพันธ์ของแอมโมเนีย มีหมู่ -NH_2 เรียกว่า หมู่อะมิโน (Amino group) เป็นหมู่ฟังก์ชันนัลของเอมีน

วิธีเรียกชื่อเอมีน เรียกเหมือนอัลเคนที่มีคาร์บอนเท่ากัน ตัด “e” ออกแล้วเติม “amine” และโซ่แม่จะต้องรวมหมู่ฟังก์ชันนัลเข้าไว้ด้วย เช่น



อัลดีไฮด์และคีโตน

อัลดีไฮด์ (Aldehyde) ได้จากการออกซิไดส์แอลกอฮอล์ การเรียกชื่ออัลดีไฮด์ เรียกเหมือนอัลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน แต่เปลี่ยน “e” เป็น “al” เช่น





คีโตนเรียกชื่อเหมือนอัลเคนที่มีจำนวนอะตอมเท่ากัน แต่เปลี่ยน เปลี่ยน “e” เป็น “one” เช่น

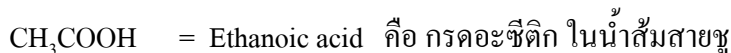
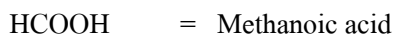


อัลดีไฮด์ที่รู้จักกันดี ได้แก่ ฟอรั่มลดีไฮด์ (Formaldehyde) เป็นแก๊สที่มีกลิ่นแรงและแสบจมูก แก๊สนี้จะกัดเยื่อตา เยื่อจมูก และเยื่อคอ เพราะฟอรั่มลดีไฮด์รวมกับโปรตีนแล้วทำให้เนื้อเยื่อแข็งตัว จึงมาใช้อุตุนิทรียได้ ฟอรั่มลดีไฮด์ที่ละลายน้ำ เรียกว่า ฟอรั่มลีน (Formalin)

ส่วนคีโตนที่รู้จักกันดี คือ อะซีโตน (Acetone) ในคนที่เป้นเบาหวานพบว่ามีอะซีโตนสะสมในร่างกายมากกว่าปกติ และพบในปัสสาวะ

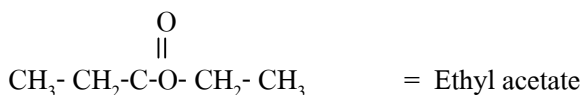
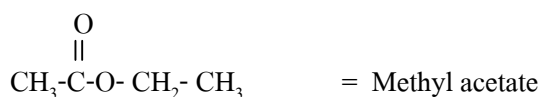
กรดคาร์บอกซิลิก

กรดคาร์บอกซิลิก (Carboxylic acid) มีหมู่ฟังก์ชันนัลเป็น $\begin{array}{c} \text{O} \\ || \\ \text{-C-OH} \end{array}$ เรียกว่า หมู่คาร์บอกซิล การเรียกชื่อกรดอินทรีย์ เรียกเหมือนอัลเคนที่มีจำนวนอะตอมของคาร์บอนเท่ากัน แต่เปลี่ยน “e” เป็น “oic acid” เช่น



เอสเทอร์

เอสเทอร์ (Ester) เกิดจากแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยากับกรดคาร์บอกซิลิก ชื่อส่วนแรกจึงได้มาจากแอลกอฮอล์ ส่วนที่สองได้มาจากกรดคาร์บอกซิลิก Fดยเปลี่ยนคำท้ายของกรดจาก -ic เป็น -ate เช่น



เอสเทอร์เป็นสารประกอบที่มีความสำคัญและพบได้ทั่วไปในสิ่งมีชีวิต เอสเทอร์ที่มีโมเลกุลขนาดเล็กมักจะมีกลิ่นคล้ายผลไม้ จึงพบเอสเทอร์เหล่านี้เป็นส่วนประกอบของผลไม้หลายชนิด

2.2 สารชีวโมเลกุล

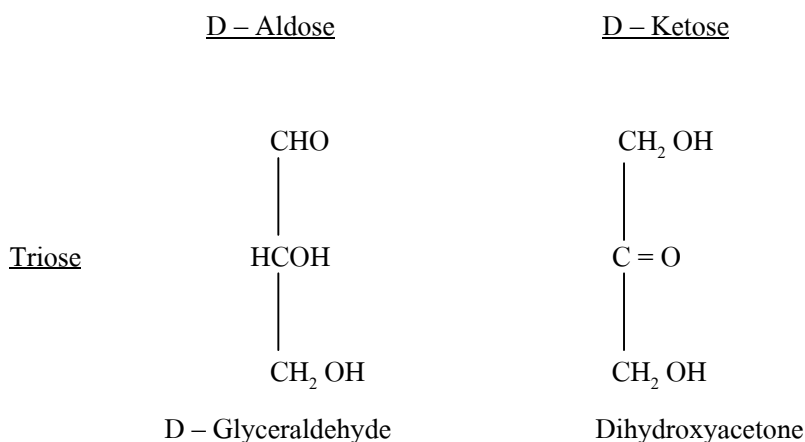
2.2.1 คาร์โบไฮเดรต

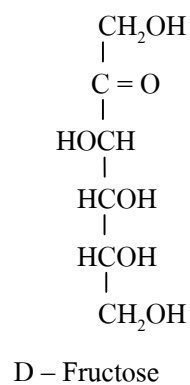
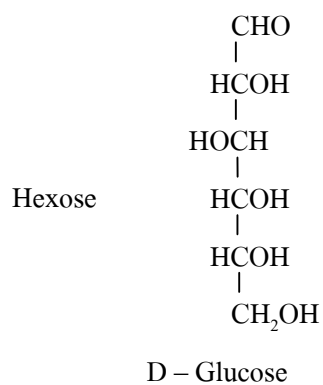
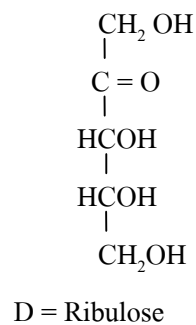
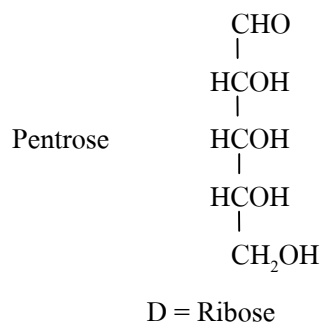
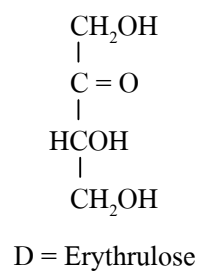
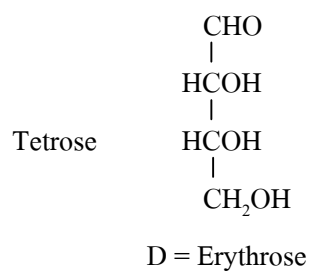
คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrates) หรือแซ็กคาไรด์ (saccharides) คือสารประกอบอินทรีย์พวก polyhydroxy aldehydes หรือ polyhydroxy ketones รวมทั้งอนุพันธ์ของสารเหล่านี้ด้วย มีคาร์บอนออกซิเจนและไฮโดรเจน ในอัตราส่วน 1 : 1 : 2 คาร์โบไฮเดรตมีอยู่ทั่วไปในธรรมชาติ เป็นสารอาหารประเภทหนึ่งที่พบได้ในพืชและสัตว์ แต่ส่วนใหญ่แล้วมักจะพบเป็นองค์ประกอบของพืช เช่น น้ำตาล (sugars) แป้ง (starch) ยาง (gum) และเซลลูโลส (cellulose) เป็นต้น แบ่งออกได้เป็น 3 พวกใหญ่ๆ คือ

1. มอนอแซ็กคาไรด์ (Monosaccharides) คือ simple sugars ที่ไม่สามารถจะย่อยสลายให้เป็นหน่วยเล็กๆ ได้อีกแล้ว ตัวอย่างเช่น กลูโคส แมนโนส ฟรุคโตส
2. โอลิโกแซ็กคาไรด์ (Oligosaccharides) คือพอลิเมอร์ (polymers) ของมอนอแซ็กคาไรด์ ประกอบด้วย simple sugars ตั้งแต่สองถึงสิบตัวจับรวมกัน ตัวอย่างเช่น แลคโตส ซูโครส
3. พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides) คือ พอลิเมอร์ ของมอนอแซ็กคาไรด์ เช่น เดียวกันแต่จะประกอบด้วย Simple sugars เป็นจำนวนมาก ๆ จับรวมกันเป็นโซ่ยาว ๆ หรืออาจจะเป็นกึ่งเกิดเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ ตัวอย่างเช่น แป้ง เซลลูโลส

มอนอแซ็กคาไรด์

มอนอแซ็กคาไรด์ หรือ simple sugars เป็นโมเลกุลที่เล็กที่สุดของคาร์โบไฮเดรตเป็นสารประกอบที่มีสูตรเคมีเป็น และ มีค่าตั้งแต่สามขึ้นไป คาร์บอนอะตอมจะต่อกันเป็นโซ่ยาว และไม่แยกเป็นกิ่ง แต่ละคาร์บอนอะตอมจะมี -OH จับอยู่มอนอแซ็กคาไรด์ ที่มี aldehyde group (-CHO) อยู่ที่ปลายหนึ่งเรียกว่า aldose พวกที่มี keto group ($>C=O$) อยู่ที่ตำแหน่งใด ๆ นอกจากที่ปลายทั้งสองก็เรียกว่า ketose monosaccharides ที่ง่ายที่สุด คือพวกที่มีสามคาร์บอน เรียกว่า triose ได้แก่ glyceraldehyde และ dihydroxyacetone ตัวอย่างสูตรโครงสร้างของน้ำตาลที่สำคัญ ๆ





คุณสมบัติของมอนอแซคคาไรด์

1. มอนอแซคคาไรด์ หรือ sugars เกือบทั้งหมดมีลักษณะเป็นผลึกขาว
2. ละลายน้ำได้ดี
3. มีรสหวาน
4. เกิดปฏิกิริยาเคมีได้หลายชนิด

อนุพันธ์ของมอนอแซคคาไรด์

1. Sugar alcohols ได้แก่น้ำตาลที่มีหมู่ C-OH แทนที่หมู่ $>C = O$ ตัวอย่างเช่น sorbitol, mannitol, glycerol และ inositol เป็นต้น
2. Sugar acids คือพวกที่มี COOH แทนที่ $>C = O$ ตัวอย่างเช่น D-glucuronic acid, D-galacturonic acid และ D-mannuronic acid พวกนี้เป็น uronic acids ที่เป็นส่วนประกอบของ Polysaccharides sugar acids ที่สำคัญมากที่สุดตัวหนึ่งก็คือ ascorbic acid หรือ vitamin C.
3. Amino sugars คือพวกที่มี $-NH_2$ แทนที่ $-OH$ ตัวอย่างเช่น D-glucosamine เป็นองค์ประกอบของ chitin ซึ่งเป็น polysaccharides ของเปลือกแมลง D-galactosamine ส่วนประกอบของ glycolipids พบมากในกระดูกอ่อน
4. Sugar phosphates พบใน living cells เป็นตัวกลางใน carbohydrate metabolism
5. Deoxy sugars ที่พบมากที่สุดคือ 2-deoxy-D-ribose เป็นส่วนประกอบที่สำคัญของ DNA

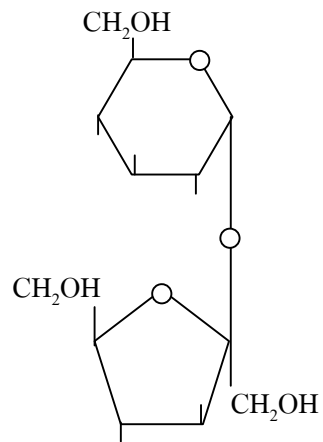
โอลิโกแซคคาไรด์

โอลิโกแซคคาไรด์ ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติคือ ไดแซคคาไรด์ (disaccharides) เมื่อถูกไฮโดรไลส์ (hydrolysed) จะให้มอนอแซคคาไรด์ (disaccharides) เมื่อถูกไฮโดรไลส์ (hydrolysed) จะให้มอนอแซคคาไรด์ 2 ตัว

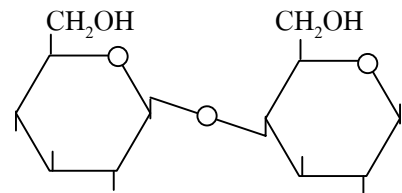
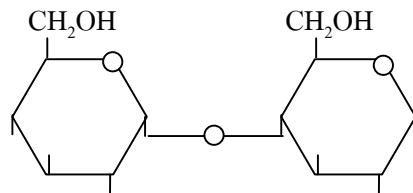
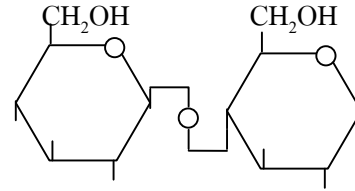
ดังนั้นไดแซคคาไรด์ ก็ได้แก่น้ำตาลซึ่งประกอบด้วยมอนอแซคคาไรด์ 2 โมเลกุล ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติได้แก่

1. ซูโครส (Sucrose) หรือน้ำตาลอ้อย ประกอบด้วยกลูโคส (glucose) และฟรุคโตส (fructose) อย่างละหนึ่งโมเลกุลต่อกัน และเป็นน้ำตาลที่พบมากที่สุดในพืช
2. แลคโตส ประกอบด้วย กาแลคโตส (galactose) และกลูโคส อย่างละหนึ่งโมเลกุล พบประมาณ 5% ในน้ำนมของสัตว์
3. มัลโตส (Maltose) เป็นน้ำตาลที่ได้จากการย่อย แป้ง โดยเอนไซม์ amylase น้ำตาลนี้ประกอบด้วยน้ำตาลกลูโคส สองโมเลกุล ตามปกติจะไปพบอยู่เป็นอิสระในธรรมชาติ แต่จะพบในกระบวนการย่อยแป้งหรือไกลโคเจน (glycogen) ซึ่งเป็นพอลิแซคคาไรด์ ที่สะสมไว้ในร่างกาย

นอกจากนี้ก็ยังมียาไดแซคคาไรด์ ที่พบมากตามธรรมชาติอีก ได้แก่ เซลโลไบโอสซึ่งประกอบด้วยกลูโคส สองโมเลกุลต่อเนื่องกันอยู่ในลักษณะที่ต่างจากข้างต้น เป็นโครงสร้างที่สำคัญของเซลลูโลสหรือเยื่อใยของพืช



Lactose
(4-O-B-D-galactopyranosyl- α -D-glucopyranoside)



Maltose
(4-O-B-D-glucopyranosyl- α -D-glucopyranoside)

Cellobiose
4-O-B-D-glucopyranosyl- β -D-glucopyranoside

พอลิแซ็กคาไรด์ (Polysaccharides)

คาร์โบไฮเดรตซึ่งพบในธรรมชาติส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพที่เรียกว่า พอลิแซ็กคาไรด์ และมีน้ำหนักโมเลกุลมาก ไม่ละลายน้ำและไม่มีรสหวาน ถ้าสลาย พอลิแซ็กคาไรด์ เหล่านี้ด้วยกรดหรือเอนไซม์อย่างสมบูรณ์ จะได้มอนอแซ็กคาไรด์

นอกจากนี้เราอาจแบ่งตามหน้าที่ได้เป็นสองพวก ๆ ใหญ่ คือ

1. พอลิแซ็กคาไรด์สะสม (storage polysaccharides) เป็นส่วนที่เก็บสะสมไว้ในร่างกาย เช่น แป้งในพืชและไกลโคเจนในสัตว์ เมื่อร่างกายต้องการใช้ก็จะถูกย่อยเป็นกลูโคส
2. พอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง (structural polysaccharides) เป็นส่วนที่เป็นโครงสร้างของเซลล์ เช่น cellulose ในพืช chitin ในกระดองปู

พอลิแซ็กคาไรด์สะสม

1. แป้ง (Starch) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ สะสมในพืชประกอบด้วย α - amylose และ amylopectin
2. ไกลโคเจน (Glycogen) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สะสมไว้ในเซลล์สัตว์ ประกอบด้วย glucose
3. เดกแทรนส์ (Dextrans) เป็นพอลิแซ็กคาไรด์ ที่สะสมในแบคทีเรียและยีสต์ ประกอบด้วย กลูโคสอย่างเดี่ยว มีลักษณะเหนียวหนืดเมื่อละลายอยู่ในน้ำ

พอลิแซ็กคาไรด์โครงสร้าง

1. เซลลูโลส (Cellulose) พบมากที่สุดในพืช ถ้าต้มเซลลูโลสในกรดแก่ จะได้กลูโคสอย่างเดี่ยวถ้าหากการสลายไม่สมบูรณ์ก็ได้ เซลโลไบโอส เซลลูโลสเป็น โมเลกุลที่ไม่มีกิ่งก้านสาขาประกอบด้วย กลูโคสต่อกันเป็นเส้นยาว ๆ ด้วย β (1 $\rightarrow$ 4) glycosidic bond เซลลูโลสเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของ cell wall ของพืช
2. ไคติน (Chitin) เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่ให้ความแข็งแรงในเขาสัตว์ หรือกระดองของปูและกุ้ง องค์ประกอบของไคตินคือ N-acetyl-D-glucosamine ต่อกัน ไคตินไม่ละลายน้ำและเรียงตัวเป็นเส้นขนานเช่นเดียวกับเซลลูโลส
3. แอซิดมิวโคพอลิแซ็กคาไรด์ (Acid mucopolysaccharides) ในสัตว์พบมากในผิวเซลล์ (cell coat) และส่วนอื่นที่ให้ความแข็งแรงแก่เซลล์ของสัตว์ชั้นสูง

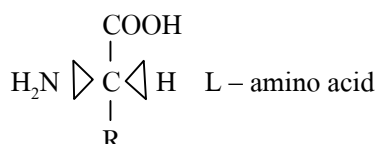
2.2.2 โปรตีน

โปรตีนเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่พบมากที่สุดในเซลล์ คือมีอยู่ประมาณร้อยละ 50 ของน้ำหนักเซลล์แห้ง โดยพบในทุกส่วนของเซลล์และพบในเซลล์ทุกชนิด โปรตีนเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กใหญ่ที่ประกอบด้วยหน่วยย่อยๆ ของกรดอะมิโน และมีสูตรโครงสร้างสลับซับซ้อน โปรตีนทุกชนิดประกอบด้วยธาตุคาร์บอน, ไฮโดรเจน, ออกซิเจน ไนโตรเจนและ ส่วนใหญ่มีธาตุกำมะถัน แต่บางชนิดมีฟอสฟอรัส, เหล็ก หรือสังกะสี สำหรับธาตุไนโตรเจนพบว่าเป็นธาตุที่มีอยู่เป็นประจำในโปรตีนทุกชนิดและมีอยู่ในปริมาณที่ค่อนข้างคงที่คือประมาณ ๑๖ % ดังนั้นการวิเคราะห์ปริมาณโปรตีนสามารถทำได้โดยวิธีทางอ้อมคือ วิเคราะห์หาปริมาณของไนโตรเจนแล้วนำมาคูณด้วย ๖.๒๕ (๑๐๐ / ๑๖) ก็จะได้เป็นปริมาณของโปรตีน

กรดอะมิโน (Amino acids)

กรดอะมิโนมีความสำคัญในร่างกายทั้งในสภาพอิสระและในสภาพหน่วยโครงสร้าง (Building block) ของโปรตีน โปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนประมาณ 100-800 หน่วยเรียกเป็นพอลิเปปไทด์ (Polypeptides) เมื่อถูกย่อยด้วยกรด, ด่าง หรือเอนไซม์ ผลจะได้สารที่มีอยู่เล็กลง คือ โอลิโกเปปไทด์ (Oligopeptide), ไดเปปไทด์ (Dipeptide) และกรดอะมิโนซึ่งเป็นสาร โมเลกุลเล็กที่สุด

กรดอะมิโนคือกรดอินทรีย์ที่มีหมู่อะมิโน (Amino, NH_2) เข้าแทนที่ไฮโดรเจนตรงคาร์บอนตำแหน่งแอลฟา (α) จึงเรียกเป็น α - amino acid กรดอะมิโนที่พบในธรรมชาติเป็นชนิด แอลฟา และพบประมาณ 20 ชนิด



I. แบ่งตามภาวะโภชนาการ ได้เป็น 3 กลุ่ม คือ

1. Essential amino acid เป็นกรดอะมิโนที่ร่างกายสังเคราะห์ได้เพียงเล็กน้อยไม่พอกับความ ต้องการ จึงจำเป็นต้องได้รับเพิ่มจากอาหาร มีอยู่ 10 ชนิด คือ Met, Arg, Thr, Trp, Val, Ieu, Phe, His และ Lys สำหรับ Arg และ His จำเป็นเฉพาะในเด็ก
2. Semi-essential amino acid มีอยู่ 4 ชนิดคือ Gly, Tyr, Ser และ Cys-Cys
3. Non-essential amino acid เป็นกรดอะมิโนไม่จำเป็นเพราะร่างกายสร้างได้เองได้แก่ Asp, Asn, Glu, Gln, Ala และ Pro

โครงสร้างของโปรตีน

จากการศึกษาถึงโครงสร้างของโปรตีนโดยดูการหักเหรังสีเอกซ์ (X-ray diffraction) ของผลึกโปรตีน พบว่าโปรตีนมีลักษณะโครงสร้างอันซับซ้อน แต่แน่นอน และสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ระดับคือ

1. โครงสร้างปฐมภูมิ (Primary structure)

หมายถึงการจัดตัวเรียงเป็นลำดับของกรดอะมิโน (Amino acid sequence) ในสายเปปไทด์ โดยกรดอะมิโนเหล่านี้จับต่อกันด้วยข้อต่อเปปไทด์ และมีชนิดกับลำดับที่แน่นอนสำหรับโปรตีนแต่ละตัวถ้าการจัดลำดับผิดหรือการมีกรดอะมิโนผิดไปแม้แต่ตัวเดียวในสายเปปไทด์ อาจเป็นสาเหตุของโรคที่ร้ายแรงได้ เช่น โรค Sickle cell anemia

2. โครงสร้างทุติยภูมิ (Secondary structure)

สายพอลิเปปไทด์ในบางส่วนหรือต่างเส้นกัน เกิดการเชื่อมโยงเข้าด้วยกันด้วยไฮโดรเจนบอน (Hydrogen bond) ทำให้เกิดมีลักษณะเป็นเกลียว (Helix) เป็นแผ่นพับ (Pleated sheet) เช่น โปรตีนพวก α -keratin ของเส้นผมเหยียด

3. โครงสร้างตติยภูมิ (Tertiary structure)

โปรตีนหรือสายพอลิเปปไทด์ หลังจากเกิดโครงสร้างทุติยภูมิแล้วมักจะม้วนขดเป็นวง (Looping) หรือหมุนรอบ (Coil) (globular), แท่งยาว (Rod) หรือเป็นเส้น (Fibrous)

4. โครงสร้างจตุรภูมิ (Quaternary structure)

สายพอลิเปปไทด์หลายสายเข้ามารวมตัวกันโดย แต่ละสายเรียกว่าหน่วยย่อย (Subunit หรือ protomer) ซึ่งหน่วยย่อยเหล่านี้อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันได้

ประเภทของโปรตีน

โปรตีนอาจแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทตามองค์ประกอบ คือ

1. Simple proteins เป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยกรดอะมิโนเท่านั้น
2. Conjugated proteins โปรตีนชนิดนี้จะมีสารอนินทรีย์หรือสารอินทรีย์อื่นๆ รวมอยู่ด้วย ได้แก่ Lipoproteins, Nucleoproteins, Phosphoproteins และ Metalloproteins เป็นต้น

ความสำคัญของโปรตีนในร่างกาย

ในร่างกายมีโปรตีนหลายชนิด และแต่ละชนิดมีหน้าที่ต่างๆ ที่สำคัญมีอยู่ ๘ ชนิด คือ

1. เอนไซม์ (Enzymes) เป็นโปรตีนกลุ่มใหญ่และสำคัญที่สุด เอนไซม์แต่ละชนิดทำหน้าที่เร่ง (Catalyse) ปฏิกิริยาเคมีต่างๆ ที่เกิดขึ้นภายในสิ่งมีชีวิต เช่น Pepsin และ Trypsin มีหน้าที่ย่อยสลายโปรตีน และ DNA Polymerase มีหน้าที่สร้างและซ่อมแซม DNA ที่มีบางส่วนที่ผิดปกติ เป็นต้น
2. โปรตีนสะสม (Storage Proteins) เป็นโปรตีนที่อยู่รวมกันสะสมในส่วนต่างๆ เป็นแหล่งของสารอาหารสำรอง เช่น Casein ที่มีอยู่มากในน้ำนม หรือ Ferritin เป็นโปรตีนในม้าม ที่มีเหล็กอยู่มาก
3. โปรตีนขนส่ง (Transport proteins) ทำหน้าที่ขนส่งที่จำเป็นบางอย่าง เช่น O_2 , fatty acid, iron, copper ไปยังส่วนที่ต้องการ เช่น ในเลือดจะมี Hemoglobin ขนส่ง O_2 จากปอดไปยังส่วนต่างๆ ของร่างกาย หรือ B_2 - lipoprotein ขนส่ง lipid ในเลือด เป็นต้น
4. โปรตีนที่ใช้ในการหดตัว (Contractile proteins) ใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อซึ่งในเซลล์

กล้ามเนื้อในโปรตีนนี้อยู่ 2 ชนิด คือ myosin และ actin นอกจากนี้ก็มี dynein ใน cilia และ fibrinogen

5. โปรตีนที่มีหน้าที่ป้องกัน (Protective proteins in vertebrate blood) ทำหน้าที่เป็นภูมิคุ้มกันในร่างกาย เช่น antibodies. เป็น immunoglobulins ที่ร่างกายสร้างขึ้นเพื่อรวมตัวกับโปรตีนที่แปลกปลอมเข้ามาในร่างกายเกิดเป็น antigen – antibody complexes หรือ fibrinogen ซึ่งเป็นสารเริ่มต้น (Precursor) ของ fibrin ที่ใช้ในการแข็งตัวของเลือด

6. สารพิษ (Toxins) พบทั้งในเชื้อโรคพืชและสัตว์ เช่น Snake venoms ในงูพิษ หรือ Clostridium botulinum botulinum toxin ซึ่งทำให้อาหารเป็นพิษ

7. ฮอร์โมนโปรตีน (Hormones) ทำหน้าที่ควบคุมกระบวนการต่างๆที่เกิดขึ้นในเซลล์ เช่น อินซูลิน (Insulin) ที่ควบคุม ไกลโคโปรตีน (Glycoproteins) พบใน Cell coats and cell walls, α -keratin ในผิวหนัง ขนเล็บ และ collagen พบในเอ็นหรือกระดูกอ่อน เป็นต้น

2.2.3 ไขมัน

ไขมันหรือลิพิด (Lipid) เป็นสารอินทรีย์ที่ได้จากสิ่งมีชีวิต ประกอบด้วยธาตุคาร์บอน (C) ไฮโดรเจน (H) ออกซิเจน (O) มีคุณสมบัติละลายได้ดีในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) เช่น คลอโรฟอร์ม, อีเธอร์ หรือเบนซีน เป็นต้น

การจำแนกไขมัน

เราอาจแยกประเภทของไขมันออกเป็น 4 ประเภทใหญ่ ด้วยกัน คือ

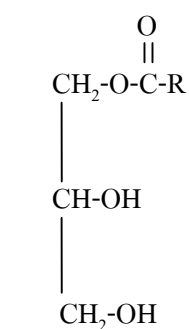
1. ไขมันธรรมดา (Simple lipids)

คือ เอสเตอร์ (Ester) ของกรดไขมัน (Fatty acid) กับแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ไขมันนั้นเรียกว่าพวก เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือ กลีเซอไรด์ (Glyceride หรือ Neutral fat)

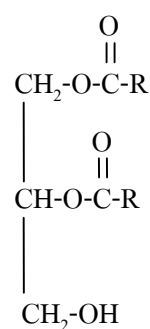
ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าอยู่ในสภาพของเหลว เรียกว่า น้ำมัน (oil)

ที่อุณหภูมิห้อง ถ้าอยู่ในสภาพของแข็ง เรียกว่า ไขมัน (fat)

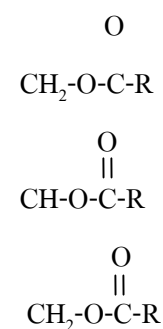
Glyceride มี 3 ชนิด คือ



Monoglyceride



Diglyceride



Triglyceride

2. ไขมันประกอบ (Compound lipids)

คือ เอสเตอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ และมักมีกลุ่มอื่นผสมอยู่ด้วย ที่สำคัญได้แก่

- Phospholipids (Phosphoglyceride)

ไขมันประเภทนี้บางทีก็เรียกว่า “phosphatide” มักพบอยู่ร่วมกันหลายชนิด ในอวัยวะต่างๆ ในอัตราส่วนแตกต่างกัน นับว่าเป็น lipid ที่สำคัญมากโดย

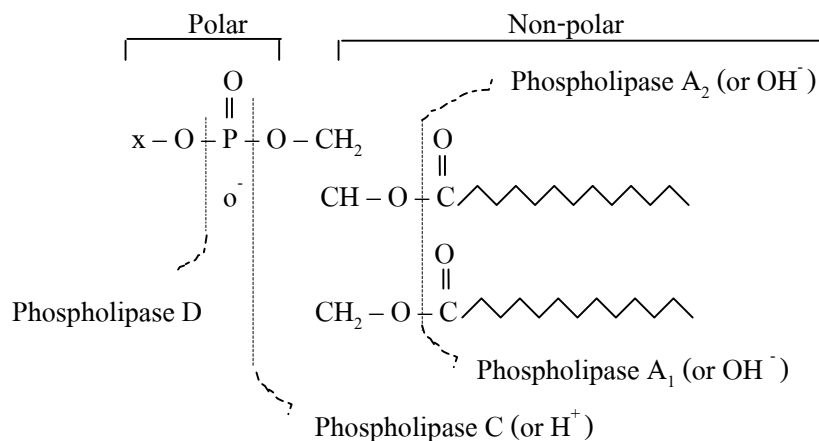
1. เป็นโครงสร้างของผนังเซลล์ (ร่วมกับโปรตีน), organelle ทำหน้าที่เกี่ยวกับการขนส่งสารที่ละลายในไขมัน

2. เป็นส่วนประกอบของเลือด เข้าใจว่าช่วยในการขนส่ง Triglyceride

3. ร่วมกับโปรตีนเป็น lipoprotein ซึ่งทำหน้าที่เป็นพาหะสำหรับพา lipid ออกนอกเซลล์ระดับ ทำให้ไขมันไม่คั่งอยู่ในตับ

จะเห็นได้จากภาพที่ 2 ว่า Phosphoglyceride ประกอบด้วย

1. กลีเซอรอล (Glycerol)
2. กรดไขมัน 2 ตัว
3. ฟอสเฟต
4. แอลกอฮอล์



ภาพที่ 2-2 การสลายพันธะต่างๆ ของฟอสโฟกลีเซอไรด์

การสลายพันธะต่างๆ ของฟอสโฟกลีเซอไรด์โดยเอนไซม์ต่างๆ Phosphoglyceride แต่ละชนิด จะมีโครงสร้างของ alcohol ต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ตัวอย่างฟอสโฟกลีเซอไรด์ และส่วนของแอลกอฮอล์ (x) ที่ประกอบอยู่

Phosphoglyceride	x
Phosphatidyl ethanolamine (PE)	HOCH ₂ CH ₂ NH ₂
Phosphatidyl choline (letithin) PC	HOCH ₂ CH ₂ N ⁺ (CH ₃) ₃
Phosphatidyl serine	HOCH ₂ CH ₂ (NH ₂) COOH
Phosphatidyl glycerol	HOCH ₂ CH (OH) CH ₂ OH
Phosphatidyl inositol	Inositol

สิ่งที่น่าสังเกตคือ โมเลกุลของ Phosphoglyceride อาจแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็น polar ซึ่งได้แก่ฟอสเฟต และแอลกอฮอล์ กับส่วนที่เป็น Non-polar (ไม่ polar) ซึ่งได้แก่ แก้วคาร์บอนของกรดไขมัน

ถ้าไม่มีตัวแอลกอฮอล์ phosphoglyceride นั้นจะเรียกว่า “phosphatidic acid” phosphoglyceride ที่มีมากที่สุดในสัตว์และพืชชั้นสูง ได้แก่ PE และ PC

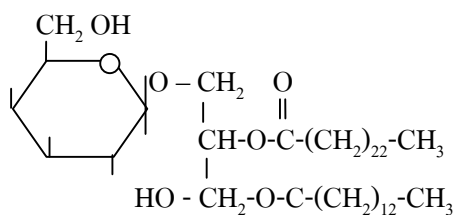
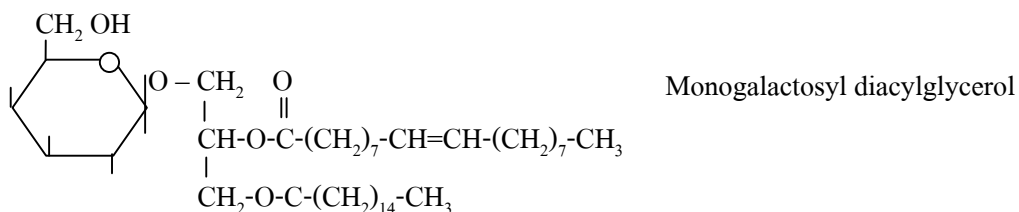
Phosphoglyceride เป็นไขมันที่ Polar ที่สุด อาจจะถูกสลายด้วยด่าง ให้กรดไขมันอิสระ 2 ตัว แต่พันธะระหว่าง glycerol กับฟอสเฟตจะทนต่อสลายด้วยกรดจึงจะแตก นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ฟวก phospholipase ที่จะสลายโมเลกุลของ phosphoglyceride ตามจุดต่างๆ ได้ดังแสดงในภาพที่ 2-2

- Glycolipids

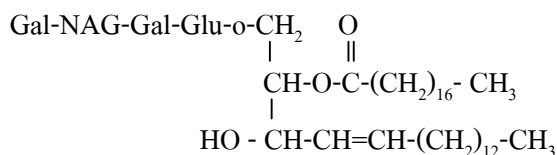
ประกอบด้วย

1. คาร์โบไฮเดรต
2. กรดไขมัน 2 ตัว
3. glycerol หรือแอลกอฮอล์ที่คล้ายกัน

ส่วนคาร์โบไฮเดรต เป็นส่วนที่เป็น Polar ตัวที่มีโครงสร้างง่ายที่สุดได้แก่ monogalactosyl diacylglycerol (ภาพที่ 2-3) ซึ่งพบในพืชและจุลินทรีย์



A cerebroside



A ganglioside

ภาพที่ 2-3 ตัวอย่างไกลโคลิพิดชนิดต่าง ๆ

คุณสมบัติของไขมัน

ใช้แยกชนิดของไขมัน คุณสมบัติที่เกี่ยวข้องมี 2 ประการ

1. จุดเดือด (Melting point = M.P.)

Lipid แต่ละตัวจะมีค่าจุดเดือด สูงหรือต่ำขึ้นกับ

- จำนวนคาร์บอนที่เป็นองค์ประกอบของกรดไขมัน (FA) นั้น ๆ
- จำนวนพันธะคู่ ใน fatty acid chain

ตารางที่ 2-5 ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนคาร์บอนและพันธะคู่ กับจุดหลอมเหลวของกรดไขมัน

กรดไขมัน	จำนวนคาร์บอน	จำนวนพันธะ	จุดหลอมเหลว (°C)
Lauric	12	-	44.2
Myristic	14	-	53.9
Palmitic	16	-	63.1
Stearic	18	-	69.6
Arachidic	20	-	76.5
Lignoceric	24	-	86.0
Palmitoleic	16	1	-0.5
Oleic	18	1	13.4
Linoleic	18	2	-5
Linolenic	18	3	-11
Arachidonic	20	4	-49.5

2. ความสามารถในการละลาย Solubility

การละลายของ lipid ขึ้นกับ polarity ของ lipid และ solvent (ตัวทำละลาย) ที่เราเลือกมาใช้, พวก polar lipid ก็จะละลายได้ดีใน polar solvent (เช่นน้ำ) ส่วนพวก Non-polar lipid ก็จะละลายได้ดีใน Non-polar solvent (organic solvent เช่น Chloroform, Ether) โดยใช้หลัก Like dissolve like

3. การเกิดสบู่ (Saponification)

เป็นการ hydrolyse ไขมันด้วยด่าง (NaOH/KOH) ใน alcohol เกิดเป็นเกลือ (Na/K) ของกรดไขมัน เรียกว่า “สบู่” ซึ่งละลายน้ำได้

ไขมันจำพวก Triglyceride ในอาหารจะถูกย่อยให้กลายเป็น monoglyceride และกรดไขมันในลำไส้ ถูกดูดซึมผ่านผนังลำไส้แล้วถูกเปลี่ยนกลับไปเป็น Triglyceride ใหม่ Triglyceride , cholesterol , phospholipid และ pretein จะจับตัวรวมกันเป็นหยดไขมันเล็ก ๆ เรียกว่า “Chylomicron” จัดเป็น lipoprotein ซึ่งจะถูกดูดซึมจากลำไส้ผ่านเข้าไปท่อน้ำเหลืองก่อน แล้วจึงผ่านออกมาในกระแสเลือด ทำให้กระแสนี้มีลักษณะขุ่นขาว ภายหลังการรับประทานอาหารที่มีไขมันมาก ๆ

ความสำคัญของไขมัน

ไขมันมีหน้าที่สำคัญ 4 อย่างคือ

1. เป็นโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (Cell membrane)
2. เป็นสารที่ใช้ในการสะสมพลังงานของร่างกาย และเป็นแหล่งของพลังงาน
3. เป็นตัวป้องกันอวัยวะต่าง ๆ ภายในไม่ให้ได้รับความกระทบกระเทือน
4. เป็นส่วนประกอบของผนังเซลล์แบคทีเรียและพืชชั้นสูง

นอกจากนี้ไขมันยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของผิวหนัง และระบบประสาทของสัตว์มีกระดูกสันหลัง ไขมันบางจำพวกยังมีหน้าที่สำคัญยิ่งในการดำรงชีวิต เช่น พกวิตามิน และฮอร์โมน ประเภท steroid เป็นต้น

พลังงานที่เก็บสะสมไว้ในร่างกายส่วนใหญ่อยู่ในรูปของไขมัน ไขมัน 1 กรัม จะให้พลังงานถึง 9 กิโลแคลอรี ในขณะที่คาร์โบไฮเดรต 1 กรัม ให้พลังงานเพียง 4 กิโลแคลอรี ดังนั้น ร่างกายจึงสามารถเก็บสะสมพลังงานไว้ได้ดีในรูปของไขมัน โดยไม่เปลืองเนื้อที่ และยังสามารถขนส่งผ่าน ทางวงจรโลหิตไปสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกายที่ต้องการพลังงานได้

2.3 เมแทบอลิซึม

เมแทบอลิซึม (Metabolism) หมายถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีที่เกิดขึ้นเป็นขั้นๆ ไปภายในเซลล์สิ่งมีชีวิต เมแทบอลิซึมจะเกิดขึ้นตลอดเวลาเพื่อรักษาสภาพแวดล้อมภายในร่างกายให้คงอยู่ในสมดุลปกติ

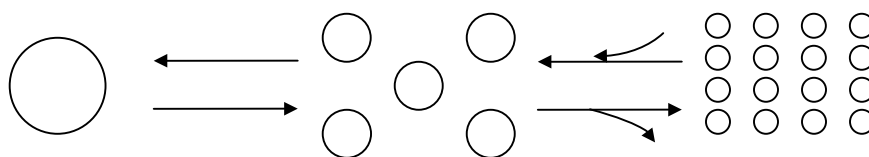
2.3.1 แคแทบอลิซึมและแอนาบอลิซึม

เมแทบอลิซึม แบ่งได้เป็น 2 พวกใหญ่ๆ คือ

1. **แอนาบอลิซึม**หรือการสังเคราะห์ (Anabolism or synthesis) หมายถึง การรวมสารเคมีที่มีโมเลกุลใหญ่เพื่อใช้ในการเจริญเติบโต ซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอและเก็บสำรองไว้ในยามจำเป็น ได้แก่ การสังเคราะห์โปรตีน ไขมัน ไกลโคเจน อีโมโกลบินของเม็ดเลือดแดง สอร์โอมและเอนไซม์ เป็นต้น กระบวนการสังเคราะห์เหล่านี้จำเป็นต้องใช้พลังงานที่ร่างกายเก็บไว้ในรูปของ ATP

2. **แคแทบอลิซึม**หรือการสลาย (Catabolism or degradation) หมายถึง การสลายโมเลกุลใหญ่ๆ ให้เป็นโมเลกุลเล็กลงจนกระทั่งถึงขั้นเป็นน้ำ คาร์บอนไดออกไซด์และพลังงาน ได้แก่ การสลายโปรตีนให้เป็นกรดอะมิโนและยูเรีย สลายไกลโคเจนให้เป็นกลูโคสแล้วสลายต่อไปจนได้กรดแลคติก กรดไพรูวิก คาร์บอนไดออกไซด์ และน้ำ ผลของการสลายนั้นนอกจากจะได้รับพลังงานแล้ว ยังจะเกิดของเสียรวมทั้งกรดและด่าง ซึ่งร่างกายจำเป็นจะต้องคอยกำจัดทิ้งไปอีกด้วย การสลายเป็นกระบวนการที่ให้พลังงานออกมา ร่างกายจะเก็บพลังงานที่เกิดขึ้นไว้ในรูปของ ATP แล้วเอาไปใช้ในการทำงานของอวัยวะต่างๆ การขนส่งต่างๆ และการสังเคราะห์สารโมเลกุลใหญ่ๆ ขึ้นใหม่

กระบวนการเมแทบอลิซึมอาจแสดงโดยแผนภูมิกง่าย ๆ ดังนี้



2.3.2 วิธีเมแทบอลิซึมของสารชีวโมเลกุล

เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate metabolism)

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต กล่าวคือสิ่งมีชีวิตจะเผาผลาญเพื่อให้ได้พลังงาน และจะสังเคราะห์คาร์โบไฮเดรตเพื่อสะสมพลังงานไว้ใช้ กระบวนการเผาผลาญคาร์โบไฮเดรตอาจแบ่งได้เป็น 2 ตอน ตอนที่ 1 คือ การสลายหรือย่อยคาร์โบไฮเดรตไม่ใช่ออกซิเจน เรียกว่า ไกลโคลิซิส (Glycolysis) ซึ่งกลูโคสจะถูกย่อยจนได้กรดไพรูวิก แต่ถ้าเกิดในเซลล์กล้ามเนื้อจะได้เป็นกรดแลคติก ส่วนการย่อยสลายของคาร์โบไฮเดรตที่เกิดขึ้นในยีสต์ กลูโคสจะถูกย่อยจนได้เอทานอลและคาร์บอนไดออกไซด์ เรียกว่า การหมักแอลกอฮอล์ (Alcoholic fermentation)

ตอนที่ 2 การหายใจ (Respiration) ซึ่งต้องใช้ออกซิเจน ผลที่ได้จากตอนแรกจะถูกสลายต่อไปโดยอาศัยออกซิเจนได้คาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ พลังงานที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของ ATP ซึ่งจะมีปริมาณไม่เท่ากันในแต่ละกระบวนการ

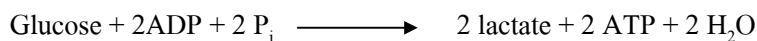
ไกลโคไลซิส (Glycolysis หรือ Embden-Meyerhof pathway)

คือ การสลายกลูโคสเป็นกรดไพรูวิกหรือแลคติก เกิดขึ้นในไซโทพลาสซึม ไกลโคไลซิสดำเนินไปโดยกลุ่มของเอนไซม์ 11 ชนิด น้ำตาลทุกชนิดที่จะเข้ากระบวนการนี้รวมทั้งไกลโคเจนด้วย จะต้องเปลี่ยนเป็น กลูโคส-6-ฟอสเฟตก่อน สารตัวกลาง (Intermediate) ทั้งหมดอยู่ในรูปของฟอสเฟต ซึ่งเหมาะกับการที่จะให้ ATP ออกมา

ไกลโคไลซิสแบ่งได้เป็น 2 ระยะ

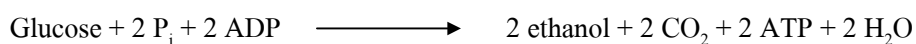
1. น้ำตาลทุกชนิดมีการเปลี่ยนแปลงจนถึงแตกออกเป็น glyceraldehydes-3-phosphate ใช้ ATP 2 โมเลกุล
2. ปฏิกริยารีดอกซ์เปลี่ยน glyceraldehydes-3-phosphate เป็นกรดแลคติกได้ ATP 4 โมเลกุล

สรุปสมการไกลโคไลซิส

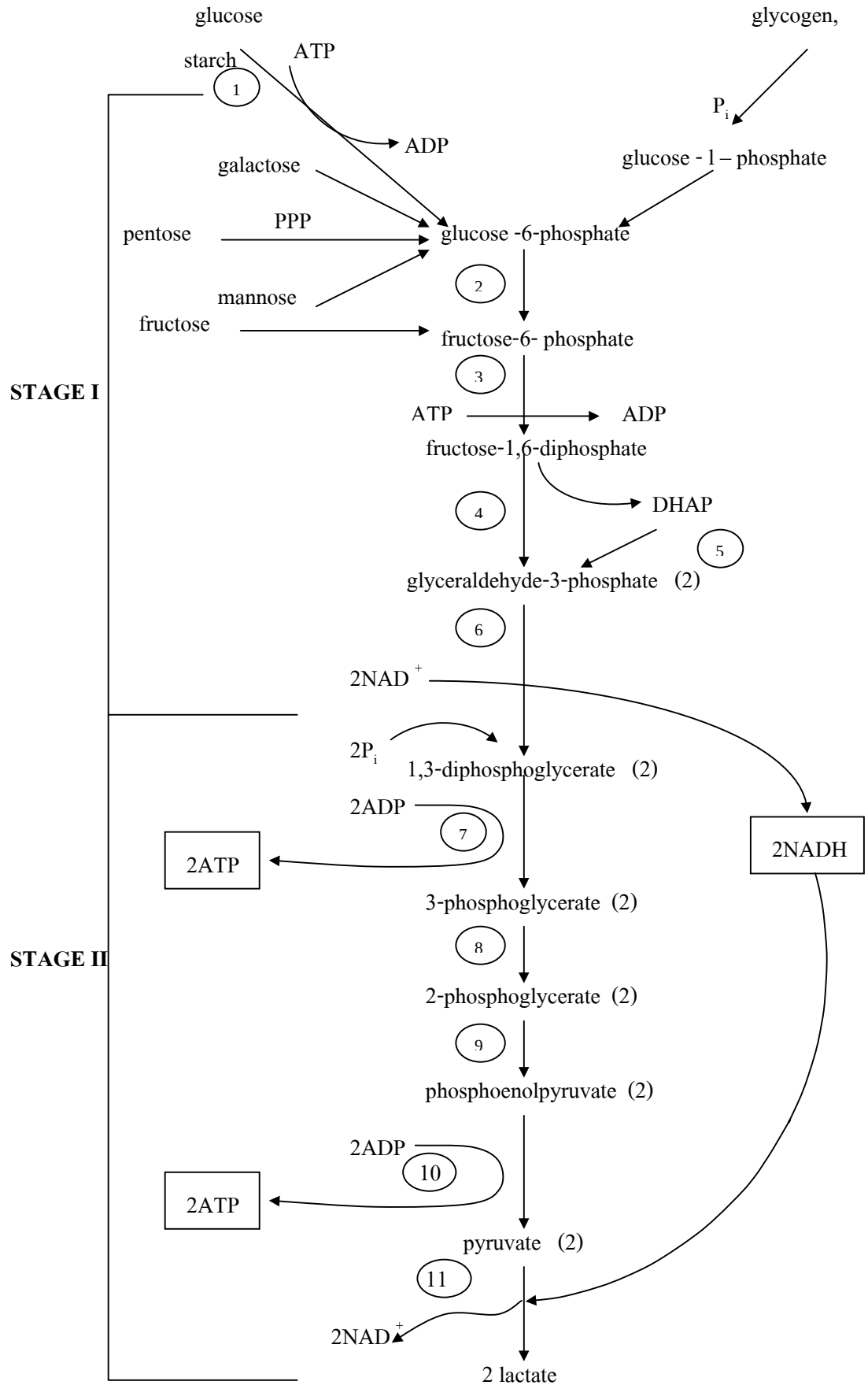


จากกระบวนการไกลโคไลซิส จะได้พลังงานสุทธิในรูป ATP 2 โมเลกุลต่อกลูโคส 1 โมเลกุล คิดได้เป็นพลังงานประมาณ 15 กิโลแคลอรีต่อโมล ถ้าสลายกลูโคสเป็นแลคเตตนอกร่างกายได้ 47 กิโลแคลอรีต่อโมล ดังนั้นประสิทธิภาพของเซลล์ $15/47 \times 100 = 31.9\%$

สรุปสมการการหมักแอลกอฮอล์

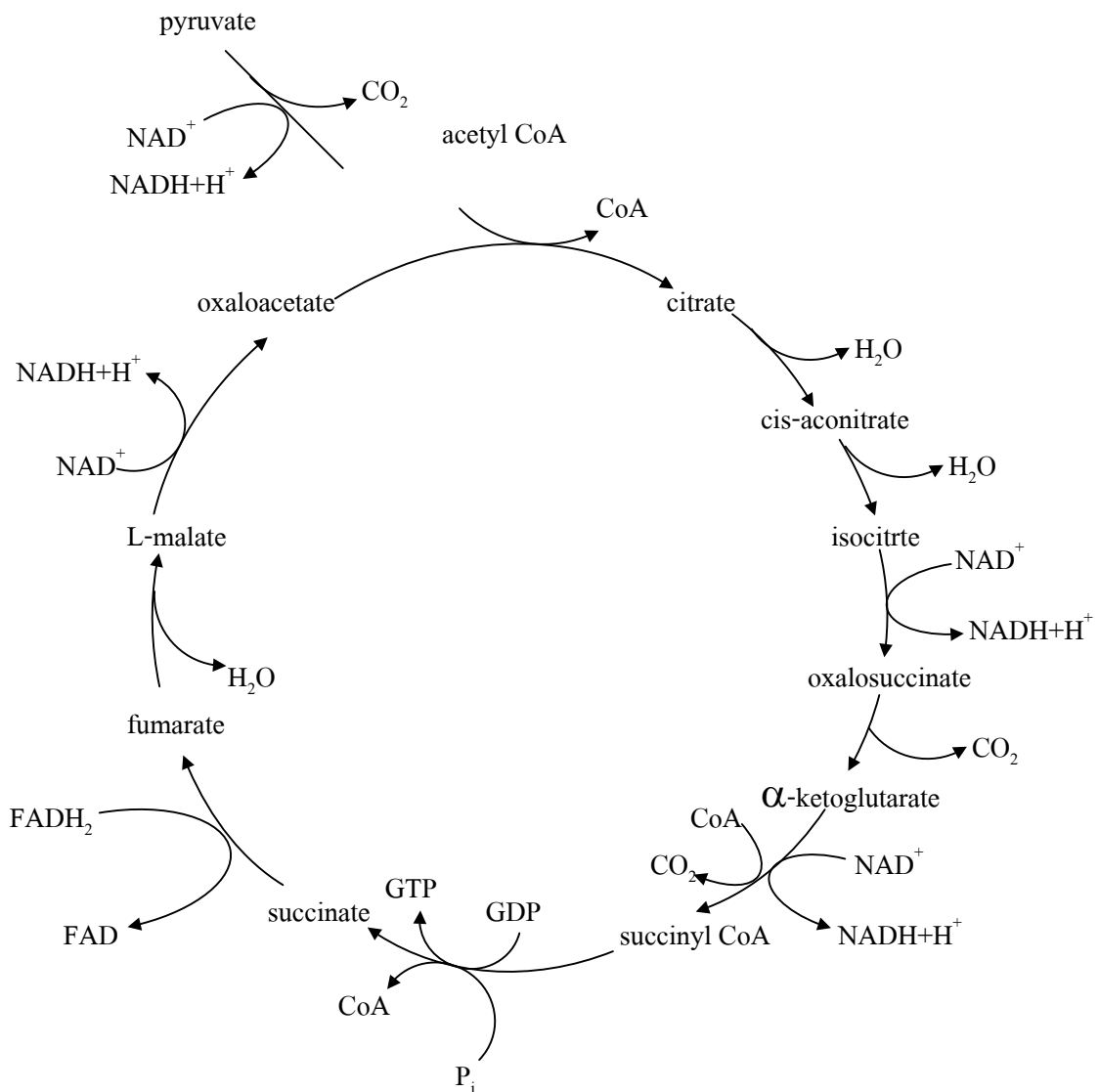


ANAEROBIC GLYCOLYSIS (EMBDEN – MEYERHOF PATHWAY)



1. glucokinase, hexokinase
2. phosphoglucosomerase
3. phosphofructokinase
4. aldolase
5. triose phosphate isomerase
6. glyceraldehydes-3-P dehydrogenase
7. phosphoglycerate kinase
8. phosphoglyceromutase
9. enolase
10. pyruvate kinase
11. lactate dehydrogenase

วงจรเครบส์ (KREBS CYCLE หรือ TCA CYCLE)



กรดไพรูวิกที่ได้จากไกลโคไลซิส จะถูกเปลี่ยนไปเป็น acetyl CoA แล้วจะถูกเผาผลาญต่อไปในวงจรเครบส์จนได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์, น้ำ และพลังงาน เอนไซม์ต่างๆที่เกี่ยวข้องในวงจรนี้มีอยู่ในส่วนในของไมโทคอนเดรีย ปฏิกิริยาช่วงนี้ต้องใช้ออกซิเจนในการรีออกซิไดซ์โคเอนไซม์หรือรีดิวซิง อีควิวเลนต์ (Reducing equivalence) ในระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron transport system) และขบวนการออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน

วงจรเครบส์ทำหน้าที่ไม่เพียงแต่เกี่ยวกับแคแทบอลิซึมเท่านั้น แต่ยังเป็นแหล่งให้สารต้นสำหรับการสังเคราะห์สารอีกด้วย

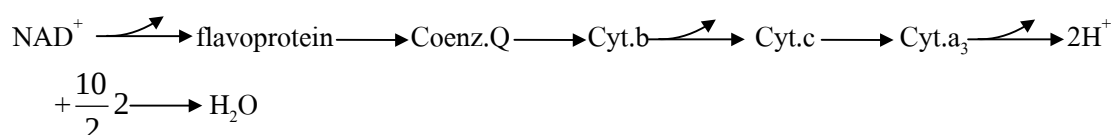
ระบบขนส่งอิเล็กตรอน (Electron Transport System or Respiratory chain)

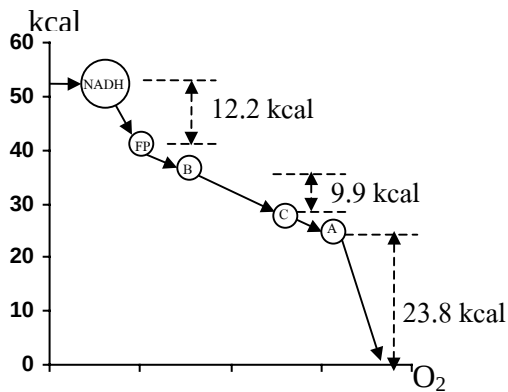
รีดิวซิง อีควิวเลนต์ ที่ได้จากวงจรเครบส์ภายในไมโทคอนเดรียจะถูกออกซิไดซ์โดยการผ่านอิเล็กตรอนเข้าไปในระบบขนส่งอิเล็กตรอนซึ่งเป็นระบบที่รับทั้งไฮโดรเจนและอิเล็กตรอนจากซับสเตรดหรือ H donor electron ส่งผ่าน carrying enzyme chain ไปส่งให้ acceptor ตัวสุดท้ายคือออกซิเจนในการหายใจของเซลล์ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน-รีดักชันที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นลูกโซ่บางครั้งจึงเรียกว่าลูกโซ่การหายใจ (respiratory chain)

การเกิดปฏิกิริยาเป็นลูกโซ่ได้ก็เพราะพาหะที่อยู่ถัดไปมีระดับพลังงานต่ำกว่าตัวแรกเพราะฉะนั้นในระหว่างกระบวนการการขนส่งอิเล็กตรอนนี้ อิเล็กตรอนจะปล่อยพลังงานเสรีออกมา ซึ่งส่วนใหญ่จะถูกเก็บไว้ในรูปของ ATP และเมื่อรวบระบบ ADP กับระบบขนส่งอิเล็กตรอนเข้าด้วยกันผลที่ได้คือออกซิเดชันในเซลล์และมีพลังงานในรูป ATP เกิดขึ้น จึงเรียกระบวนการนี้ว่า oxidative or respiratory chain phosphorylation (Phosphorylation ของ ADP เกิดเป็น ATP ในระหว่างที่มีออกซิเดชันในเซลล์) สำหรับการเกิด ATP ในที่อื่นๆที่ไม่เกี่ยวข้องกับการหายใจในเซลล์และระบบขนส่งอิเล็กตรอน เรียกว่า substrate level phosphorylation

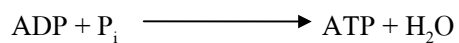
การขนส่งอิเล็กตรอนและออกซิเดทีฟฟอสฟอริเลชัน เกิดขึ้นในเซลล์ที่ใช้ออกซิเจนเกือบทั้งหมด และปฏิกิริยารีดอกซ์เหล่านี้ใช้เอนไซม์ทั้งสิ้น ในเซลล์ยูคาริโอต เอนไซม์ซึ่งเร่งปฏิกิริยาเหล่านี้จะอยู่ที่ผนังด้านในของไมโทคอนเดรีย

electron transport system & oxidative phosphorylation





กราฟ แสดงพลังงานอิสระที่เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนวิ่งจาก NADH ไปยังออกซิเจน



$$\Delta G^\circ = +7.3 \text{ kcal}$$

การคิดพลังงานที่ได้จากการสลายกลูโคส

สรุปพลังงานที่ได้จากการสลายกลูโคสโดยสมบูรณ์ ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในขั้นตอนต่างๆมีดังนี้

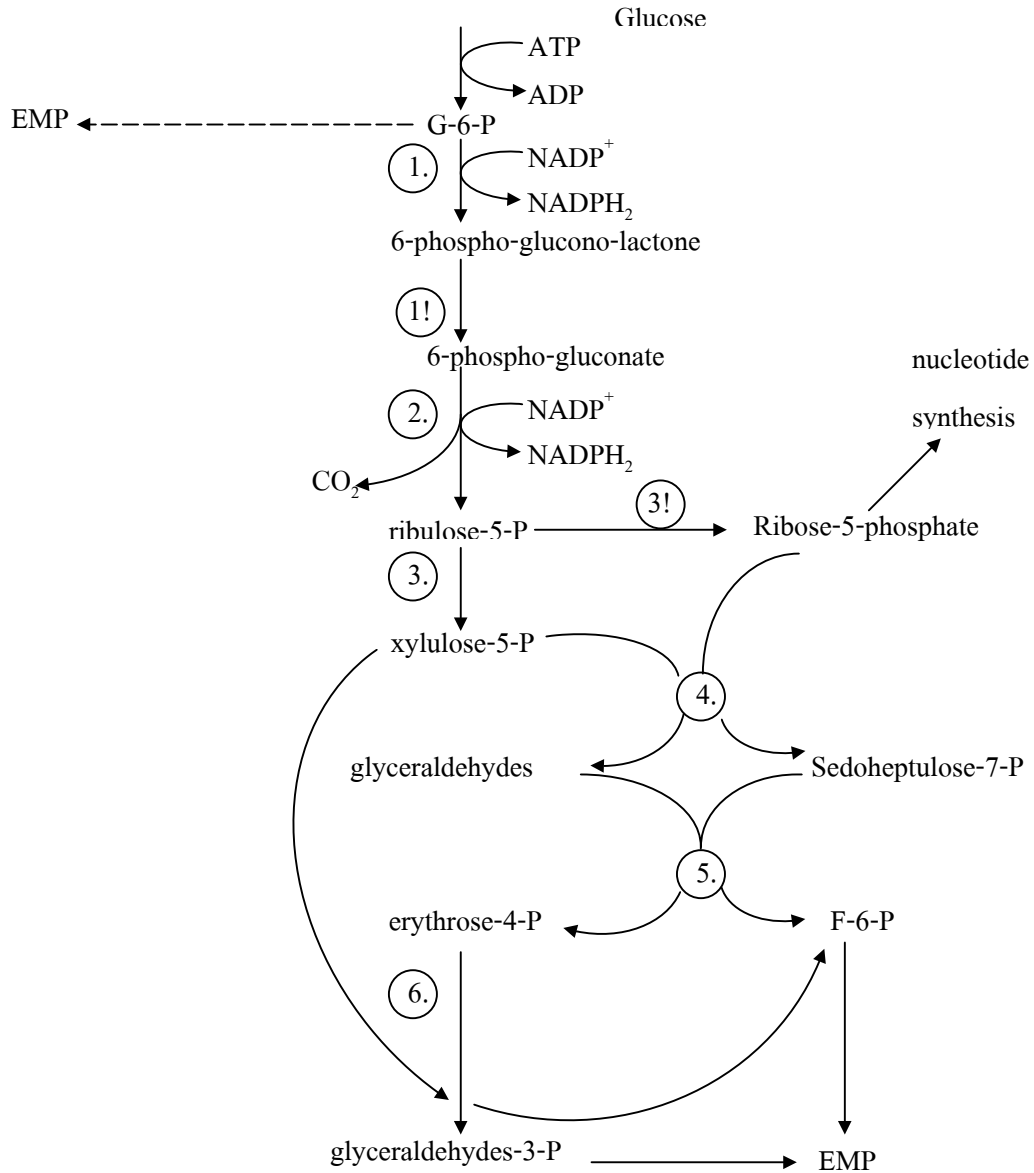
1. glycolysis

	coenzyme	ATP
glucose $\longrightarrow$ G-6-P	-	-1
F-6-P $\longrightarrow$ F-1, 6-dip	-	-1
2(glyceraldehydes-3-P) $\longrightarrow$ 2(1,3-diphosphoglycerate)	2 NAD ⁺	+4 (+6)
2(1,3-diphosphoglycerate) $\longrightarrow$ 2(3-phosphoglycerate)	-	+2
2 PER $\longrightarrow$ 2 pyruvate	-	<u>+2</u>
		<u>+6 (+8)</u>
2 pyruvate $\longrightarrow$ 2 acetyl CoA	2 NAD ⁺	+6

2. Krebs cycle

2 isocitrate $\longrightarrow$ 2 $\square$ -ketoglutarate	2 NAD ⁺	+6
2 $\square$ -ketoglutarate $\longrightarrow$ 2 succinyl CoA	2 NAD	+6
2 succinyl CoA $\longrightarrow$ 2 succinate	2 GTP	+2
2 succinate $\longrightarrow$ 2 fumarate	2 FAD	+4
2 malate $\longrightarrow$ 2 oxalacetate	2 NAD ⁺	<u>+6</u>
		+24

วิธีเพนโทสฟอสเฟต (PENTOSE PHOSPHATE PATHWAY (PPP) OR HEXOSE
MONOPHOSPHATE SHUNT)



- | | |
|--------------------------------------|----------------------|
| 1. glucose-6-phosphate dehydrogenase | 3! pentose phosphate |
| isomerase | |
| 1! lactonase | 4. transketolase |
| 2. 6-phosphogluconate dehydrogenase | 5. transaldolase |
| 3. pentose phosphate epimerase | 6. transketolase |

นอกจากไกลโคไลซิสแล้ว คาร์โบไฮเดรตยังสามารถถูกเผาผลาญโดยวิถีเพนโตสฟอสเฟต สารต้นของวิธีนี้คือกลูโคส-6-ฟอสเฟต ทั้งหมดจะเกิดขึ้นในไซโทซอล

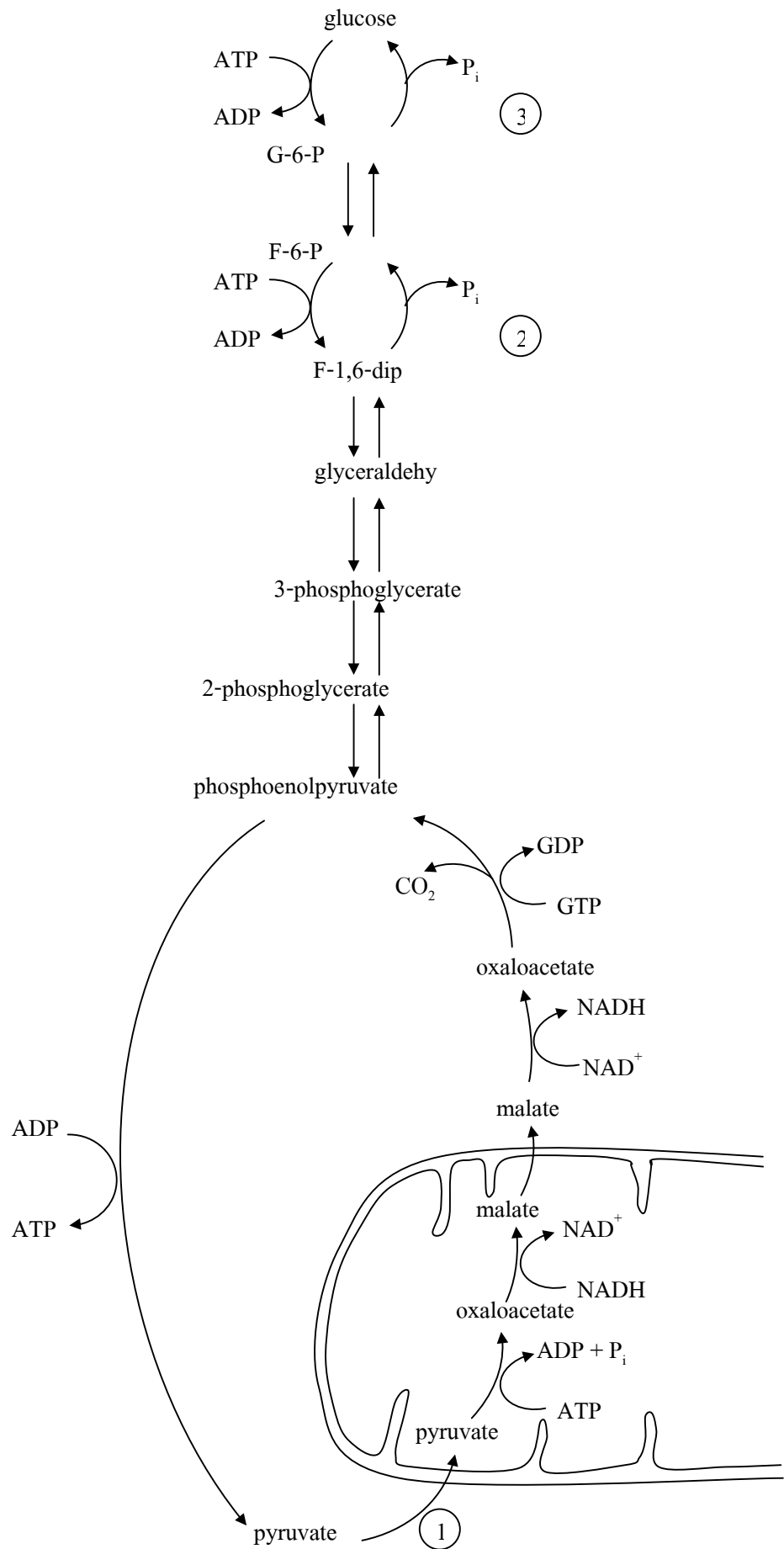
ความสำคัญของวิถีเพนโตสฟอสเฟต

1. ให้ NADPH_2 เพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมัน กรดอะมิโน
2. ให้น้ำตาลเพนโตสโดยเฉพาะไรโบส เพื่อใช้ในการสังเคราะห์กรดนิวคลีอิก

กลูโคนีโอเจเนซิส (GLUCONEOGENESIS)

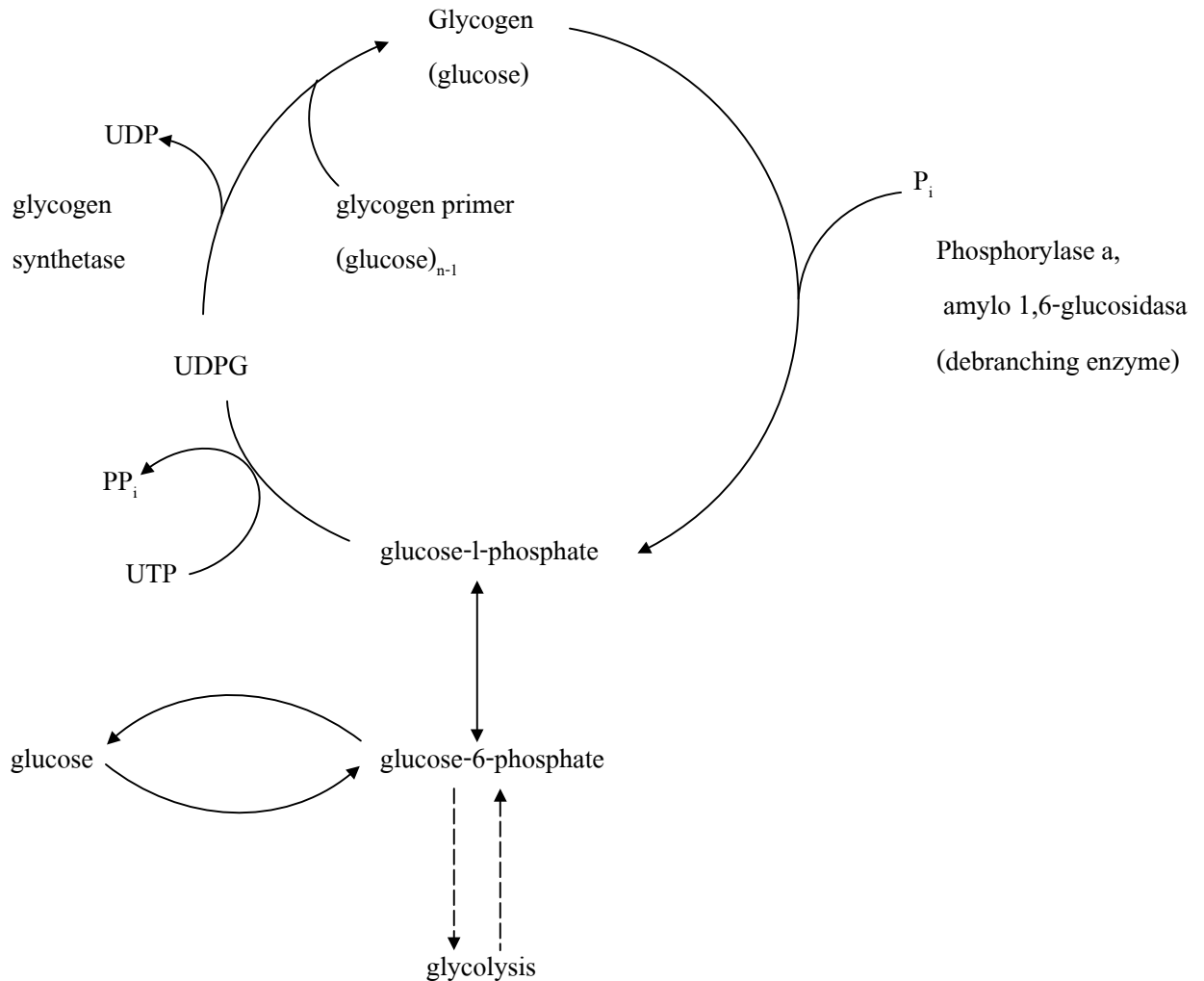
เกิดขึ้นเฉพาะที่ตับ เป็นการสังเคราะห์กลูโคสจากสารที่ไม่ใช่น้ำตาล คือ ไพรูเวต แลคเตต กลีเซอรอล และสารอินเตอร์มีเดียในวงจรเครบส์ ซึ่งรวมทั้งที่ได้มาจากกรดอะมิโนพวกกลูโคเจนิคด้วย ขบวนการนี้จะเพิ่มขึ้นในบางภาวะเช่น เมื่อได้รับอาหารโปรตีนมาก ขณะออกกำลังกาย ภาวะอดอาหาร และโรคเบาหวาน

การสังเคราะห์ไพรูเวตเป็นกลูโคสเกิดขึ้นโดยการย้อนกลับของหลายปฏิกิริยาในไกลโคไลซิส แต่มี 3 ปฏิกิริยาที่ไม่มีการย้อนกลับ ซึ่งจะถูกแทนที่โดยปฏิกิริยาลัดทาง (by pass reaction) ซึ่งเป็นไปได้โดยมีประสิทธิภาพและทำให้เกิดการสังเคราะห์กลูโคสขึ้นได้



เมแทบอลิซึมของไกลโคเจน (GLYCOGEN METABOLISM)

Amylo (1,4 $\longrightarrow$ 1,6) transglycosylase
(branching enzyme)



Glycogenolysis คือการสลายตัวของ glycogen โดยการที่ enzyme phosphorylase a ไปแยกส่วน glucose ที่อยู่ปลายสุดของสายแต่ละสายใน glycogen โมเลกุลออกทีละหน่วยจนถึงส่วน glucose ที่เกาะกันเป็นแขนง (1,6 linkage) glycogen ส่วนที่เหลือเรียกว่า dextrin ต่อมา enzyme amylo-(1,6)-glucosidase จะแยก glucose ที่เกาะกันด้วย -1,6 linkage ออก

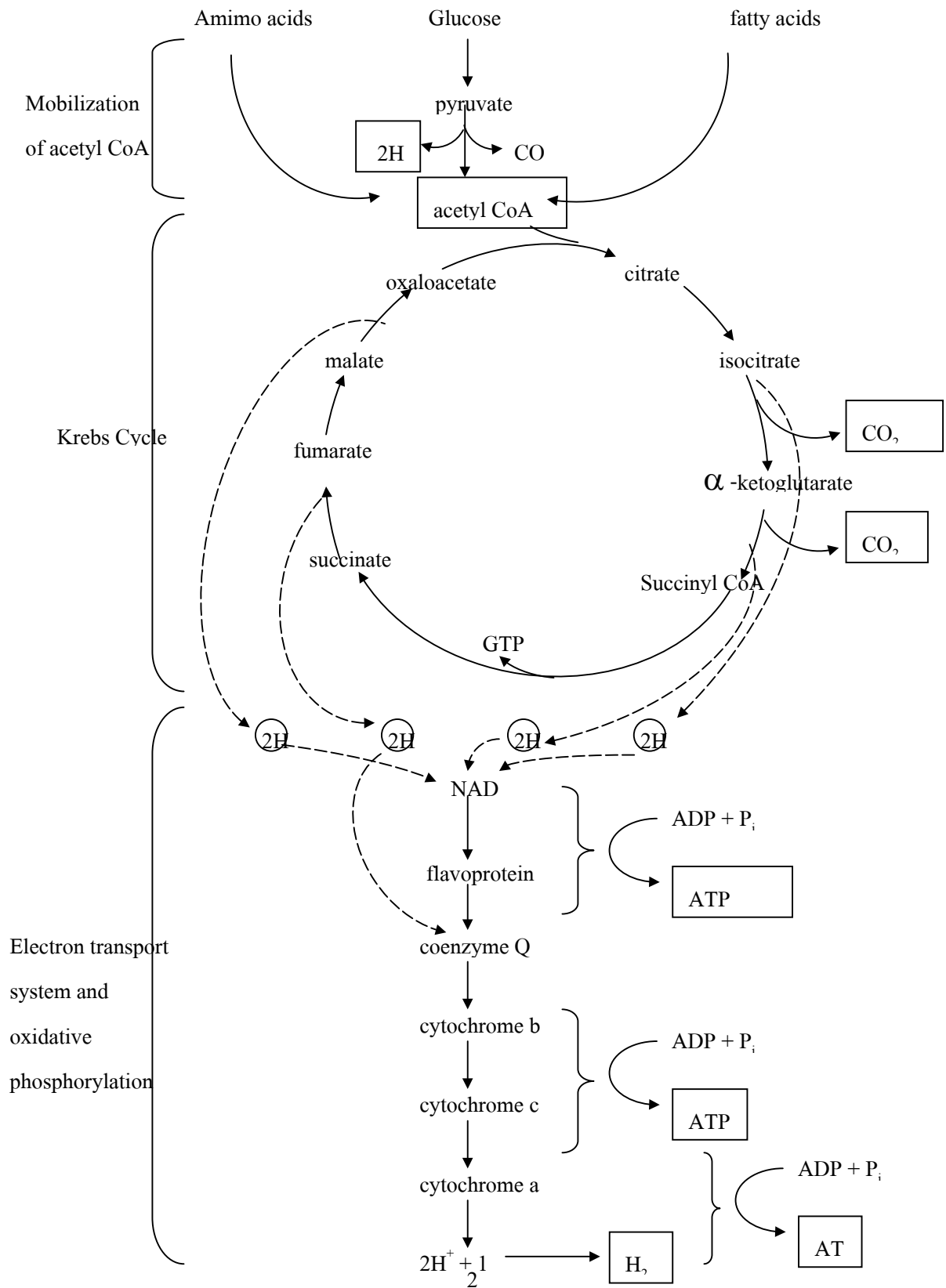
Glycogenesis glycogen ส่วนมากสร้างในตับและกล้ามเนื้อ การเกิด glycogen ขึ้นแรก glucose จะถูกเปลี่ยนเป็นรูป glucose-6-phosphate ตามลำดับ ต่อมา glucose-1-phosphate จะรวมตัวกับ uridine triphosphate พร้อมกับให้ phosphate group ออกมาตัวมันเองกลายเป็น uridine diphosphate-glucose

uridine diphosphate-glucose จะปล่อย glucose ให้กับ glycogen primer ทำให้โมเลกุลของ glycogen primer มี glucose เพิ่มขึ้นอีก 1 โมเลกุลซึ่งเรียกว่า 1,4 glucosyl units ปฏิกริยาอันหลังสุดนี้ เกิดขึ้นโดย อาศัย enzyme glycogen synthetase

การควบคุมเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต

ขึ้นอยู่กับปริมาณของเอนไซม์, ปริมาณของฮาร์โมน และปัจจัยอื่นๆที่มีผลต่อความเร็วของ ปฏิกริยา ทั้งหมดนี้ต้องอาศัยฮาร์โมนเป็นสารควบคุมอีกทอดหนึ่ง ซึ่งฮาร์โมนแต่ละชนิดจะมีกลไกในการออกฤทธิ์แตกต่างกัน และการที่เมแทบอลิซึมจะอยู่ในภาวะปกติได้ ก็ต้องมีดุลในการทำงานของ ฮาร์โมนเหล่านี้ซึ่งอาจใช้ระดับน้ำตาลในเลือดเป็นเครื่องชี้ได้ ดังนั้นจึงแบ่งฮาร์โมนที่ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดได้เป็น 2 พวก

1. ฮาร์โมนที่ลดระดับน้ำตาลในเลือดคือ insulin ตัวเดียว กลไกการออกฤทธิ์มีดังนี้
 - เร่งให้กลูโคสผ่านผนังเซลล์เข้าไปภายในได้
 - กระตุ้นไกลโคเจนซินเทส ทำให้มีการสังเคราะห์ไกลโคเจนทั้งในตับและกล้ามเนื้อ
 - กระตุ้นไกลโคไลซิส โดยเป็นตัวชักนำให้เร่งการสังเคราะห์ glycolytic enzyme
 - ยับยั้งกลูโคนีโอเจเนซิส
2. ฮาร์โมนที่เพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดคือ
 - . ฮาร์โมนจาก pituitary gland มี
 1. Growth hormone (GH)
 2. Adrenocorticotrophic hormone (ACTH)
 3. Thyroid stimulating hormone (TSH)
 - . ฮาร์โมนจากต่อมหมวกไต มี
 1. Glucocorticoids
 2. Adrenaline
 - . ฮาร์โมนจากตับอ่อน ได้แก่
 - Glucagon
 - . ฮาร์โมนจาก thyroid gland ได้แก่
 - Thyroxine



The flow sheet of respiration (CARBOHYDRATE METABOLISM)

เมแทบอลิซึมของโปรตีน (Protein Metabolism)

โปรตีนเป็นสารโมเลกุลขนาดใหญ่ที่มีหน้าที่สำคัญหลายอย่างภายในร่างกาย โปรตีนที่ได้รับจากอาหารจะถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์พวกโปรตีนหลายชนิด ผลสุดท้ายได้สารโมเลกุลเล็ก คือ กรดอะมิโน (amino acid) แล้วถูกดูดซึมที่ผนังลำไส้เข้าสู่กระแสเลือด (Portal blood) ไปยังตับ การดูดซึมกรดอะมิโน เซลล์ของลำไส้เกิดได้ 2 แบบ คือ active transport และแบบ passive transport mechanism ที่ตับกรดอะมิโนบางส่วนจะถูกส่งต่อไปยังเซลล์ต่างๆทั่วร่างกายเพื่อการเปลี่ยนแปลงทางเคมีตามความต้องการต่อไป

เอนไซม์ที่ช่วยย่อยโปรตีนนั้นได้มาจากกระเพาะอาหาร, ตับอ่อน และลำไส้ ซึ่งสามารถแบ่งเอนไซม์พวกนี้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ

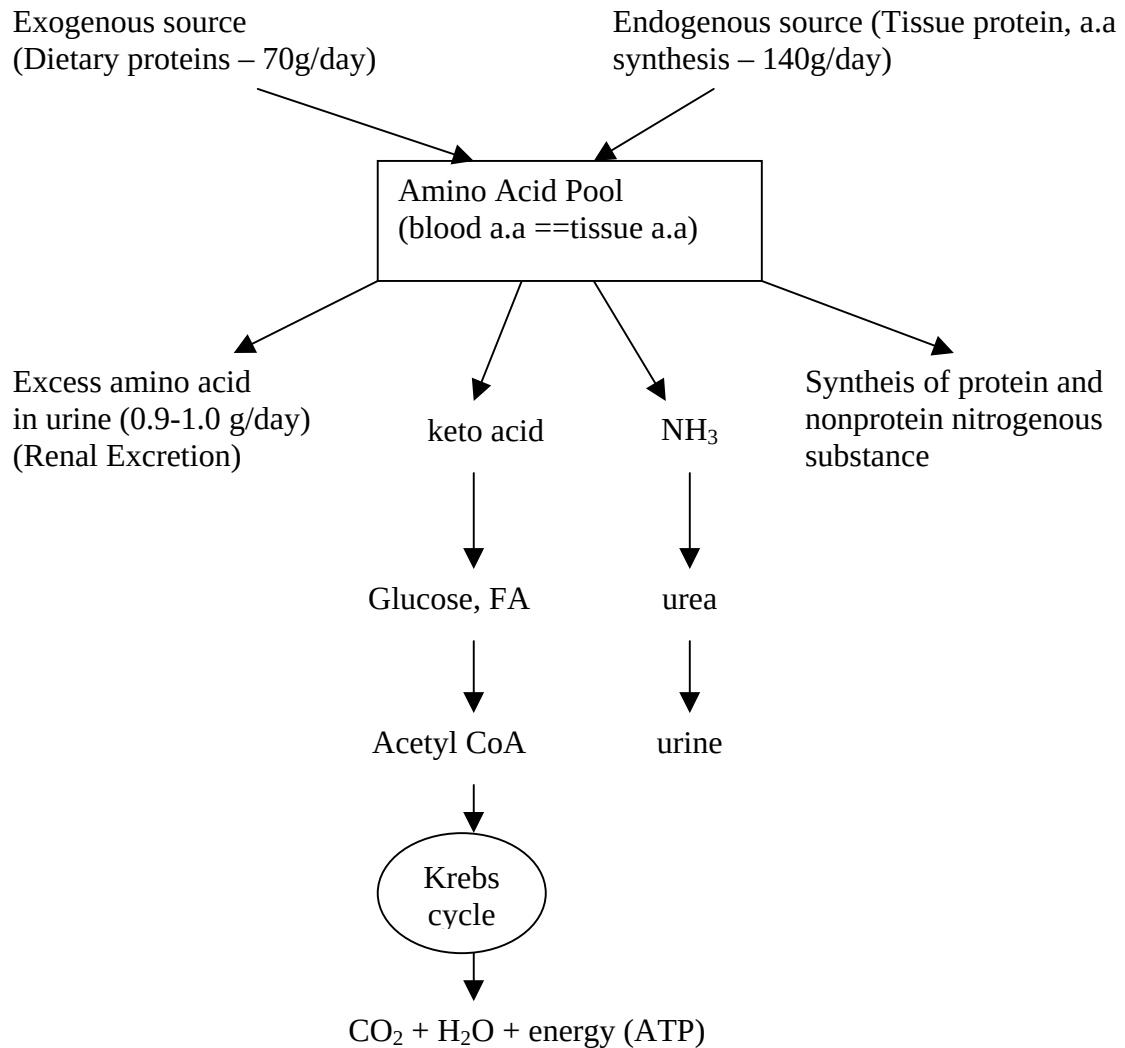
1. Exopeptidase เป็นเอนไซม์ที่ย่อยกรดอะมิโนจากตอนปลายของสายเปปไทด์ เช่น carboxypeptidase, aminopeptidase และ dipeptidase เป็นต้น
2. Endopeptidase เป็นเอนไซม์ที่สลายพันธะเปปไทด์ (peptide bond) ภายในสายโพลีเปปไทด์ ผลได้เป็นเปปไทด์สายสั้นๆ เช่น pepsin, trypsin และ chymotrypsin เป็นต้น

Distribution of amino acid

โปรตีนที่มีอยู่ตามเนื้อเยื่อต่างๆในร่างกายไม่ได้อยู่ในลักษณะนิ่ง แต่มีการสลายและการสร้างขึ้นตลอดเวลา (dynamic state) อัตราการสลายและการสร้าง (turnover rate) จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับชนิดและหน้าที่ของเนื้อเยื่อนั้นๆเช่นที่ตับจะมีอัตราการทำลายสูง

กรดอะมิโนในเลือดและในเนื้อเยื่อจะรวมกันเป็น “amino acid pool” ตามปกติระดับกรดอะมิโนในเลือดจะมีปริมาณคงที่เสมอ โดยมีค่าเป็น 50-80 มก./ดล. และกรดอะมิโนในเนื้อเยื่อมีค่าเป็น 5-10 เท่าของในเลือด

กรดอะมิโนใน amino acid pool นี้ได้มาจากการดูดซึมอาหารโปรตีนในทางเดินอาหารจากการสลายโปรตีนในเนื้อเยื่อต่างๆ และจากการสังเคราะห์ขึ้นภายในร่างกาย ซึ่งกรดอะมิโนเหล่านี้ส่วนใหญ่จะถูกนำไปใช้ในการสังเคราะห์เป็นโปรตีนและสารประกอบในโคโรเจนที่ไม่ใช่โปรตีน เช่น พิวรีน และพิริมิดีน เป็นต้น และกรดอะมิโนที่เหลือก็ถูกสลาย เอากลุ่มอะมิโนออกไปเหลือเป็นกรดคีโตนซึ่งถูกสลายต่อไปเป็นพลังงาน ส่วนกลุ่มอะมิโนที่ถูกปล่อยจะอยู่ในรูปของแอมโมเนียซึ่งเป็นพาหนะนำส่งร่างกายก็ถูกเปลี่ยนเก็บไว้ในสภาพที่ไม่เป็นพิษกับถูกสังเคราะห์เป็นยูเรียแล้วขับถ่ายออกทางปัสสาวะ(ดูภาพที่ 2-4)



ภาพที่ 2-4 วิธีปกติของเมแทบอลิซึมของกรดอะมิโน

ดุลไนโตรเจน (Nitrogen Balance)

ดุลไนโตรเจนถือเป็นผลรวมของเมแทบอลิซึมของโปรตีนนั่นเอง พบว่ามีอยู่ 3 สถานะที่เป็นไปได้ คือ

1. Nitrogen equilibrium (ture nitrogen balance) เป็นภาวะที่ร่างกายได้รับไนโตรเจนเท่ากับที่ขับออกไป พบได้ในคนปกติที่เจริญเติบโตเต็มที่แล้ว คือผู้ใหญ่ที่มีน้ำหนักตัวคงที่

2. ดุลไนโตรเจนบวก (Pasitive nitrogen balance) เป็นผลเนื่องมาจากปริมาณไนโตรเจนที่รับเข้าไปมากกว่าปริมาณไนโตรเจนที่ขับถ่ายออกมา แสดงว่าร่างกายต้องการไนโตรเจนมากกว่าปกติ ภาวะแบบนี้พบในเด็กที่กำลังเจริญเติบโต, ระยะตั้งครรภ์ และระยะพักฟื้นจากการเจ็บป่วย

3. คูลไนโตรเจนลบ (Negative nitrogen balance) เป็นผลเนื่องจากร่างกายได้รับไนโตรเจนในปริมาณที่น้อยกว่าที่ถูกขับออก พบได้ในคนอดอาหาร, คนขาดอาหาร, ผู้ป่วยที่มีไข้สูงและผู้ป่วยที่ถูกไฟไหม้หรือน้ำร้อนลวกอย่างรุนแรง

ในการศึกษาถึงเรื่องเมตะบอลิซึมของโปรตีนนี้ จะขอกล่าวถึง การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนในร่างกาย และการสังเคราะห์โปรตีนจากกรดอะมิโน

การเปลี่ยนแปลงของกรดอะมิโนในร่างกาย

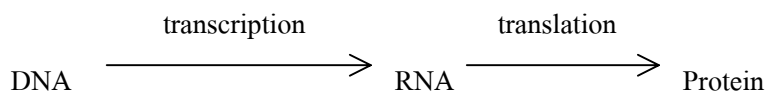
กรดอะมิโนถูกนำไปสังเคราะห์โปรตีนเป็นส่วนใหญ่ และถูกนำไปใช้เป็นพลังงาน เพียง 10% ของพลังงานที่ร่างกายต้องการในแต่ละวัน แต่การสลายโปรตีนให้พลังงานนี้ 1 กรัมของโปรตีนจะให้พลังงานประมาณ 4 กิโลแคลอรี

โดยทั่วไปกรดอะมิโนจะถูกเปลี่ยนแปลงดังนี้

1. นำไปสังเคราะห์โปรตีน
2. นำไปสังเคราะห์เป็นกรดอะมิโนตัวอื่น คือพวกกรดอะมิโนไม่จำเป็น (non – essential amino acid) โดยมากโคโรคาร์บอนที่ใช้สังเคราะห์กรดอะมิโนจำเป็นนี้ได้มาจากตัวกลางของกระบวนการ glycolysis และ Krebs cycle เช่น 3 – phosphoglycerate, phosphoenolpyruvate, pyruvate, α - ketoglutarate และ oxalacetate หรือได้จากกรดอะมิโนตัวอื่นโดยเฉพาะจาก glutamate โดยปฏิกิริยา transamination
3. นำไปสังเคราะห์สารอื่นที่ต้องการไนโตรเจน เช่น creatine, porphyrin, purine และ pyrimidine เป็นต้น
4. การสลายของกรดอะมิโนโดยปฏิกิริยาทางเคมี (catabolism of amino acid) ส่วนใหญ่แล้วได้เป็นแอมโมเนียและโคโรคาร์บอนซึ่งนำไปสังเคราะห์เป็นกลูโคสหรือกรดไขมันได้

การสังเคราะห์โปรตีนจากกรดอะมิโน

โปรตีนในร่างกายได้จากการสังเคราะห์ขึ้นมาใหม่ทั้งสิ้น การสังเคราะห์โปรตีนภายในเซลล์จะมีความเกี่ยวข้องกับการทำงานร่วมกันอย่างมีระเบียบของกรดนิวคลีอิก คือ tRNA, mRNA, rRNA และ เอนไซม์หลายชนิด โดยที่ mRNA ซึ่งเป็นตัวกลางการเรียงตัวกันของกรดอะมิโนในโปรตีนนั้นได้รับคำสั่งถ่ายทอดทางพันธุกรรมมาจาก DNA แล้วถูกนำออกจากนิวเคลียสไปยังไซโตพลาสซึม ส่วน tRNA จะทำหน้าที่เอากรดอะมิโนต่าง ๆ มายัง ribosome (rRNA) ซึ่งเป็นที่ๆสร้างโปรตีน ดังนั้นโปรตีนแต่ละชนิดจะมีโครงสร้างและหน้าที่แตกต่างกันเนื่องจากการเรียงตัวที่ต่างกันของกรดอะมิโน การสังเคราะห์โปรตีนมีขึ้นในไซโตพลาสซึม โดยมีเอนไซม์หลายตัวเข้ามาช่วยเร่งปฏิกิริยาและขบวนการนี้เรียกว่า translation



ข้อความทางพันธุกรรมจะเก็บไว้ในลำดับของ base ทั้งใน DNA และ RNA และ code แต่ละคำบน mRNA ประกอบด้วย nucleotide 3 ตัว เรียกว่า triplet code หรือ codon ซึ่ง codon จะมีลักษณะทั่วไปดังนี้

1. Universal เหมือนกันทั้งในพืช สัตว์ และแบคทีเรียทุกชนิด
2. Unambiguous คือ code หนึ่งตัวจะจำเพาะสำหรับกรดอะมิโนตัวเดียว
3. Degenerate กรดอะมิโนตัวหนึ่งอาจมีได้หลาย codons เพราะ nucleotide มีอยู่ 4 ชนิด ดังนั้นจะพบว่ามี codon อยู่ทั้งหมด 4^3 หรือ 64 codons โดยที่มี 3 codons ทำหน้าที่เป็น termination codon และอีก 61 codon ทำหน้าที่เป็น code สำหรับกรดอะมิโน 20 ชนิด สำหรับ code ที่มีความหมายเดียวกันนี้ว่า synonyme code เช่น glu (CAA, CAG)
4. nonoverlapping คือ code บน mRNA จะเรียงตามลำดับไม่มีการซ้อนกัน
5. Commaless codon แต่ละตัวจะเรียงติดต่อกันโดยไม่มีเครื่องหมายคั่นกลางระหว่าง code เลข

การควบคุมการสังเคราะห์โปรตีน

ภายในเซลล์มีโปรตีนหลายชนิด แต่โปรตีนแต่ละชนิดจะมีปริมาณไม่เท่ากัน แสดงว่าจำเป็นต้องมีกระบวนการบางอย่างมาควบคุมและประสานงานการทำงานของยีนต่างๆ โดยที่ยีนนั้นเป็นตัวกำหนดลำดับของกรดอะมิโนในโปรตีน การควบคุมเป็นไปได้ 2 ระดับ คือ ระดับการถอดข้อความทางพันธุกรรม (Transcription) และการแปลรหัสทางพันธุกรรม (Translation) ส่วนใหญ่การสังเคราะห์โปรตีนจะถูกควบคุมในระดับ Transcription ส่วนระดับ Translation นั้นโดยมากการควบคุมอยู่ที่ระยะ initiation

ฮอร์โมนที่ควบคุมการสังเคราะห์โปรตีนดังนี้

1. Growth hormone จาก pituitary gland จะไปเพิ่มการสังเคราะห์ RNA ทั้ง 3 ชนิด (mRNA, tRNA, rRNA)
2. Androgen มีฤทธิ์ไปกระตุ้นให้มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น
3. Thyroxine จาก thyroid gland มีฤทธิ์ไปกระตุ้นการสังเคราะห์ RNA ซึ่งจำเป็นต่อการเจริญเติบโตของเด็ก
4. Insulin จะไปเพิ่มการเข้าสู่เซลล์ของกรดอะมิโน ทำให้มีการสังเคราะห์โปรตีนเพิ่มขึ้น
5. Corticosteroid จากต่อมหมวกไต จะไปยับยั้งการสังเคราะห์โปรตีนโดยทางอ้อม

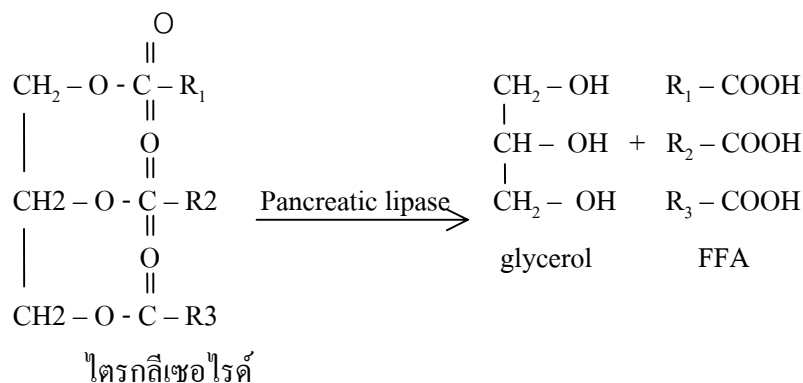
เมแทบอลิซึมของไขมัน (LIPID METABOLISM)

การเจริญเติบโตและการดำรงชีวิตนั้น ร่างกายได้ใช้กรดไขมัน (FA) เพื่อเป็นแหล่งพลังงานของเซลล์ที่สำคัญอันหนึ่ง ร่างกายเราต้องการกรดไขมันจากอาหารเพียงเล็กน้อยเท่านั้น เนื่องจากร่างกายเราสามารถสังเคราะห์ไขมัน (Lipid) ขึ้นได้เอง ไขมันที่มาจากอาหารหรือที่สะสมไว้ในเซลล์ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride, ไตรกลีเซอไรด์) ส่วนน้อยอยู่ในรูปสเตอรอล (Sterol) ฟอสโฟลิพิด (Phospholipid) และ วิตามิน (Vitamin) ที่ละลายในไขมัน กรดไขมันที่เป็นอิสระ (FFA) จะมีอยู่บ้างในโลหิต เมื่อไขมันถูกย่อยและดูดซึมแล้วจะถูกสะสมไว้ หรือเมแทบอลิซึม (Metabolise) ไป พลังงานที่สำรองไว้ในร่างกายในรูปของไตรกลีเซอไรด์ นี้อาจมาจากอาหารคาร์โบไฮเดรต โปรตีน หรือ ไขมันที่ร่างกายได้รับมากเกินไป

การย่อยและการดูดซึม

ในกระเพาะอาหารมีเอนไซม์ไลเปส (Lipase) ที่สามารถย่อยไตรกลีเซอไรด์ ที่มีกรดไขมันสายไม่ยาวนัก (C ประมาณ 6-12 อะตอม) ได้เฉพาะที่ตำแหน่งที่ 1 (α) แต่ไม่สามารถย่อยไตรกลีเซอไรด์ ที่มีกรดไขมันสายยาวได้ ($C > 12$ อะตอม)

เอนไซม์ไลเปสจากตับอ่อน (Pancreatic lipase) สามารถย่อยไตรกลีเซอไรด์ ได้โดยครึ่งหนึ่งของไตรกลีเซอไรด์ จะถูกย่อยสมบูรณ์ได้กรดไขมันกับกลีเซอรอล (Glycerol)



ส่วนไขมันอีกครึ่งหนึ่ง จะถูกย่อยไม่สมบูรณ์ได้ Mono- และ Diglyceride กับกรดไขมัน

ทั้ง กลีเซอรอล mono-, diglyceride และกรดไขมันนี้จะไปจับกับเกลือน้ำดี (Bile salt) หรือที่เราเรียกว่าถูกอิมัลซิไฟ (Emulsified) โดยเกลือน้ำดี (Bile salt) เกิดเป็นไมโครอิมัลชัน (Microemulsion) หรือเรียกว่า ไมเซลล์ (Micelle) ทำให้ไขมันสามารถแทรกตัวผ่านเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กส่วนต้นได้โดยสะดวก

เมื่อเข้าไปในผนังลำไส้แล้วสะสมอยู่มากๆ ในที่สุดจะถูกขับออกไปจากเซลล์ โดยที่ระหว่างที่อยู่ในเซลล์พวก mono- และ diglyceride จะรวมกับกรดไขมัน สังเคราะห์เป็นไตรกลีเซอไรด์ได้ใหม่อีก ไมเซลล์ประมาณ 70% จะไปรวมกับโปรตีน (Apoprotein) กลายเป็นไคโลไมครอน (Chylomicron) แล้วจะถูกดูดซึมและส่งผ่านไปทางท่อน้ำเหลือง (Lymphatic duct) เข้าสู่ระบบน้ำเหลือง ส่วนอีก 30% เป็นกรดไขมันขนาดเล็ก (Medium chain ไตรกลีเซอไรด์) ซึ่งละลายน้ำได้ จะถูกส่งเข้าสู่ตับ หัวใจ ในคนปกติ ไขมันที่กินเข้าไปจะถูกดูดซึมประมาณ 95%

ไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำกว่า 50°C จะถูกย่อยและดูดซึมได้สมบูรณ์กว่าไขมันที่มีจุดหลอมเหลวสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากไขมันที่มีจุดหลอมเหลวต่ำจะเกิดอิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) ได้มากกว่า ไขมันพืชและไขมันสัตว์ที่มีจุดหลอมเหลวเท่ากัน จะถูกย่อยและดูดซึมได้ดีเท่ากัน ไม่มีการดูดซึมไขมันหรือกรดในกระเพาะอาหาร จะมีการดูดซึมทั้งหมดในลำไส้เล็กเท่านั้น (ดูภาพที่ 1)

การขนส่งไขมัน (Transport of fat)

ภายหลังการกินอาหารที่มีไขมันสูง พลาสมาจะเกิดลักษณะที่เรียกว่า “Alimentary hyperlipemi” คือขุนขาวคล้ำขุ่น และความขุ่นนี้จะมากที่สุดหลังจากกินอาหารไขมันแล้ว 2 1/2 - 3 ชม.

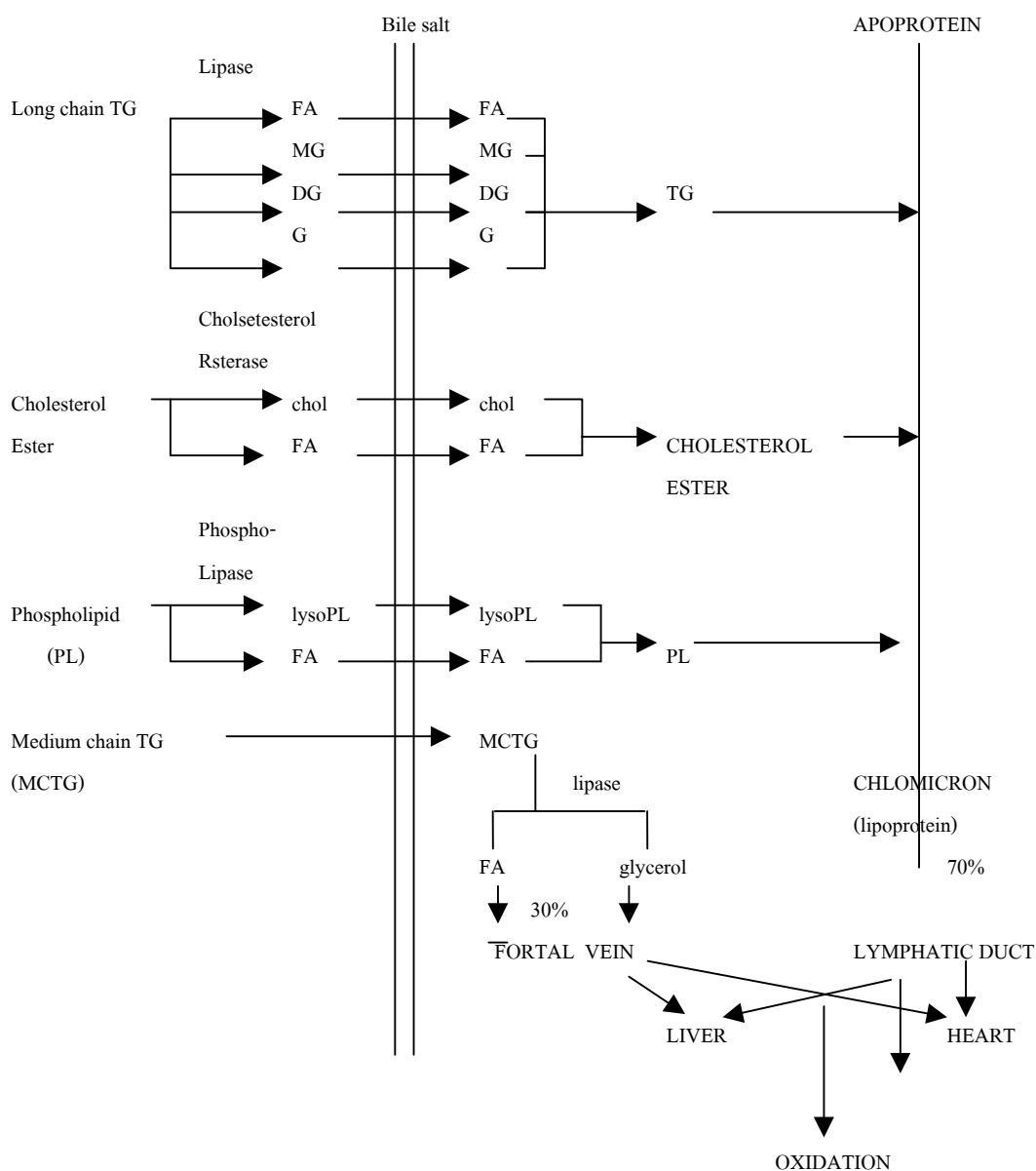
ไขมันในเลือดมี 3 รูปคือ

1. Chylomicron เป็นเม็ดไขมันขนาดเล็ก เส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1 μm
2. Low-density- β -lipoprotein (LDL) เป็น lipid ที่เกาะอยู่กับโปรตีนในรูปไลโปโปรตีน (Lipoprotein)
3. Nonesterified fatty acid (NEFA) จับอยู่กับ albumin อย่างหลวมๆ

ตัวที่ทำให้พลาสมาขุ่นคือ ไคโลไมครอน เมื่อพลาสมาที่ขุ่นนี้ไหลผ่านไปยังอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ จะถูกทำให้ใสอย่างเดิมได้ภายในเวลา 5-6 ชม. หลังจากกินอาหารที่มีไขมันเข้าไป เพราะในพลาสมามีเอนไซม์ไลโปโปรตีนไลเปส (Lipoprotein lipase) หรือเรียกว่า เคลียร์ริง แฟกเตอร์ (Clearing factor) ไปไฮโดรไลส์ ไตรกลีเซอไรด์ โดยมีเฮพาริน (Heparin) เป็นโคแฟกเตอร์ (Cofactor) ฤทธิ์ของเอนไซม์นี้ต่างจากไลเปสจากตับอ่อนคือจะสลาย ester bond ของ ไตรกลีเซอไรด์ ทั้ง 3 ตำแหน่ง ทำให้มีการปล่อยกรดไขมันอิสระให้แก่เนื้อเยื่อนั้นๆเพื่อใช้ในการสังเคราะห์ ไตรกลีเซอไรด์ เก็บไว้เป็นไขมันสะสม (Fat depot) หรือใช้เกี่ยวกับเมแทบอลิซึมอื่นๆ เอนไซม์ที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อเกือบ

ทั้งหมดมีมากใน adipose tissue และในกล้ามเนื้อหัวใจมีฮอร์โมนหลายชนิดที่มีอิทธิพลต่อระดับกรดไขมันอิสระในพลาสมาคือ

1. epinephrine และ norepinephrine hormone2 ตัวนี้จะทำให้ระดับ FFA ในพลาสมาสูงขึ้น โดยจะไปเพิ่มการเคลื่อนย้าย FFA ออกจาก adipose tissue
2. Insulin และ glucose จะทำให้ระดับ FFA ในพลาสมาลดลง
3. Growth hormone,thyroxine,ACTHทำให้ระดับFFA ในพลาสมาสูงขึ้น



ภาพที่2-6 แผนภาพแสดงการดูดซึมของไขมันในลำไส้เล็ก

ไขมันในร่างกายมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ 5 ทางคือ

1. ถูก oxidized ให้พลังงานและความร้อน
2. เก็บสะสมไว้เป็นพลังงานสำรอง
3. เป็นส่วนประกอบของน้ำมัน
4. ถูกขับถ่ายทางอุจจาระ (ผ่านทางน้ำดี และจากเซลล์ลำไส้ที่ลอกหลุดออกมา)
5. สูญเสียทางผิวหนัง

การสะสมไขมัน

ไขมันถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อต่างๆของร่างกาย เรียก depot fat หรือ adipose tissue การสะสมนี้เพื่อใช้เป็นพลังงานของร่างกาย และประโยชน์อื่นๆ ต่อไปเช่น

- ใช้เป็นฉนวนป้องกันการเสียความร้อนออกจากร่างกาย (thermal blanket)
- หุ้มห่อข้อต่อต่างๆ เส้นประสาทและอวัยวะต่างๆ
- ป้องกันการกระทบกระแทก
- ยึดอวัยวะต่างๆ เช่น ไต

การเปลี่ยนแปลงของไขมันในตับ

จะมี fat เป็นจำนวนมากถูกดูดซึมเข้าไปสู่ตับ ทั้งในรูป chylomicron ทาง lymphatic duct หรือทาง portal system ในรูปของ medium chain fatty acid ไตรกลีเซอไรด์ ที่เข้าสู่ตับในรูป chylomicron จะถูก hydrolysed ไปเป็น fatty acid และ glycerol ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะถูกใช้ในการสร้าง PL นี้ถูกขัดขวาง ก็จะมีการจับของ fat อยู่ในตับจำนวนมากทำให้เกิดภาวะผิดปกติเรียก "fatty liver"

ตัวอย่างเช่นในการสร้าง phosphatidyl choline (lecithin) จำเป็นต้องใช้ทั้ง choline และ precursor (สารตั้งต้นในการสร้าง choline) ของมันคือ Methionine ดังนั้น ทั้งทั้ง choline และ Methionine จึงสามารถป้องกัน หรือใช้รักษาภาวะ fatty liver ได้

ถ้าขาด amino acid หลายชนิด เช่น Threonine, Tryptophan และ Glycine อาจทำให้มีการสะสมไขมันในตับได้ เนื่องจาก amino acid เหล่านี้มีความสำคัญต่อการสร้างเอนไซม์ เพื่อใช้ใน fat metabolism ดังนั้น ถ้ากินอาหารที่มีโปรตีนต่ำหรืออาหารโปรตีนที่มี amino acid ไม่สมดุลย์ ถึงแม้ว่าจะมี choline เพียงพอจะทำให้เกิด fatty liver ได้

Oxidation of fatty acid

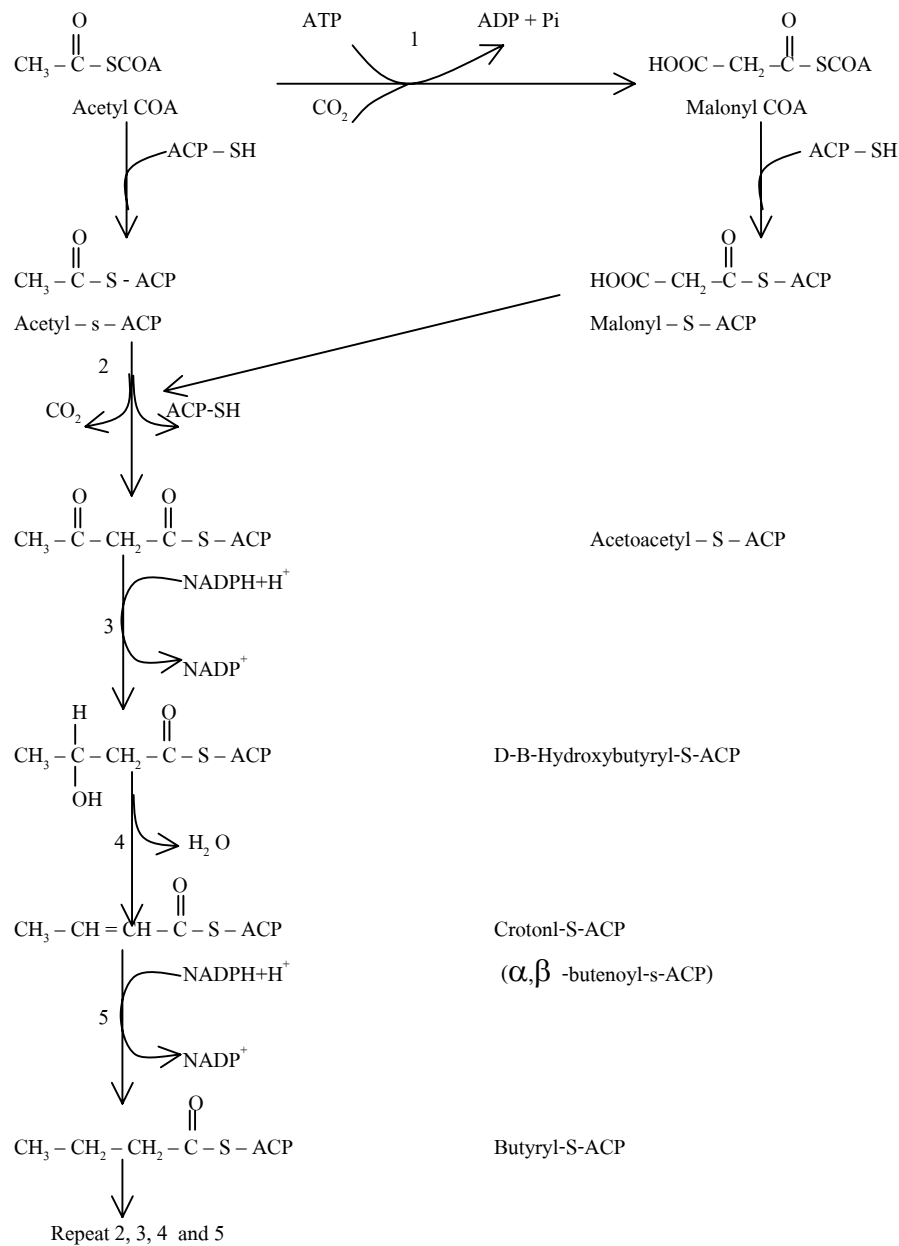
เนื่องจาก lipase และ phospholipase เป็นเอนไซม์ที่อยู่ใน cytoplasm ส่วนเอนไซม์ที่จะใช้ในการเผาผลาญ (oxidize) กรดไขมันนั้นอยู่ใน Mitochondria ดังนั้นการสลายกรดไขมันจึงต้องประกอบด้วยขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกระตุ้นกรดไขมัน
2. การนำกรดไขมันผ่านเข้าไป Mitochondria และ
3. การเผาผลาญกรดไขมัน Mitochondria

การสังเคราะห์กรดไขมัน (Fatty acid synthesis)

เมื่อเซลล์มีพลังงานเพียงพอ และมี acetyl CoA เหลือใช้ ก็จะถูกนำไปสังเคราะห์ แต่เอนไซม์ที่ใช้สังเคราะห์ FA นี้มีอยู่ใน cytoplasm ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำเอา acetyl CoA ออกจาก Mitochondria มาอยู่ใน cytoplasm เพื่อสร้าง FA

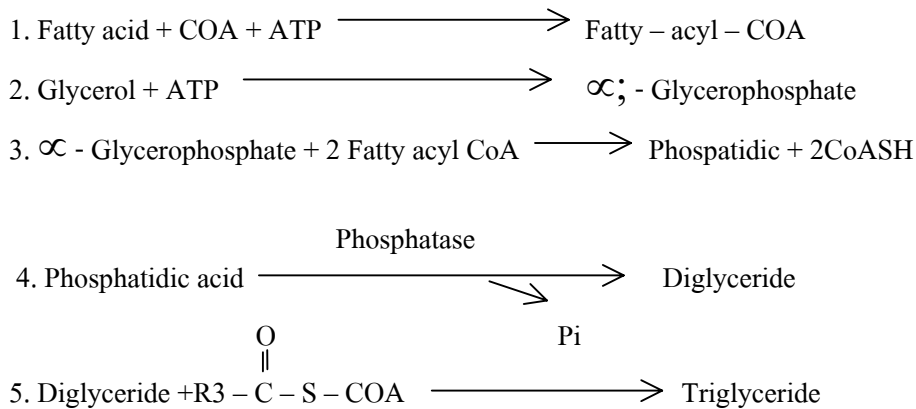
การสังเคราะห์ FA จาก acetyl CoA ภายใน cytoplasm ประกอบด้วยปฏิกิริยา 5 ปฏิกิริยา ดังภาพที่ 2-7



ภาพที่ 2-7 วิธีสังเคราะห์กรดไขมันจาก acetyl CoA , ACP=acyl carrier protein

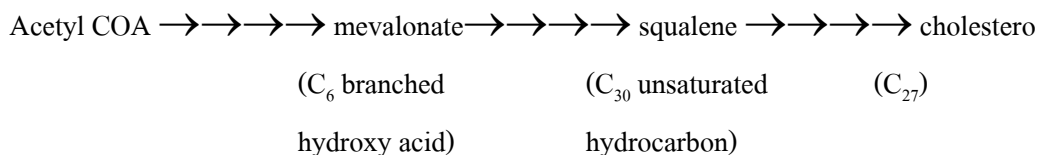
การสังเคราะห์ Triglyceride

ในร่างกายมีการสังเคราะห์ Triglyceride ที่เซลล์เยื่อของลำไส้เล็ก ตับ และเนื้อเยื่อไขมัน FA ที่สังเคราะห์ได้จากขบวนการสังเคราะห์ FA จะถูกเปลี่ยนเป็น Triglyceride โดยขั้นตอนดังต่อไปนี้



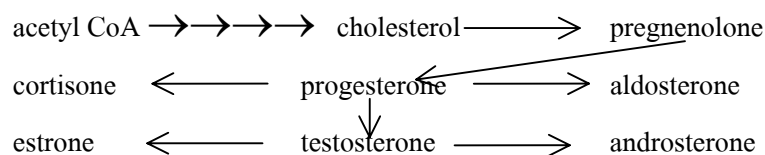
Metabolism of Cholesterol

Cholesterol มีความสำคัญต่อร่างกาย แต่ถ้าไม่ได้รับจากอาหารร่างกายก็สามารถสังเคราะห์ได้เอง โดยสังเคราะห์จาก acetyl COA การสังเคราะห์ส่วนใหญ่เกิดขึ้นในตับและมีขั้นตอนดังนี้



ประมาณ 75% ของ cholesterol ที่สร้างขึ้นในตับนี้จะถูกใช้ในการสังเคราะห์ “bile acids” (ที่สำคัญที่สุดคือ cholic acid) ซึ่งทำให้ละลายน้ำได้มากขึ้นเป็นประโยชน์ต่อ action ของ enzyme lipases

นอกจากนี้ cholesterol ยังเป็นสารตั้งต้น (precursor) ของ steroids ที่สำคัญหลายชนิดซึ่งทำหน้าที่เป็น hormone ด้วย intermediate ที่สำคัญ 2 ชนิด คือ pregnenolone และ progesterone (pregnenolone เป็น steroid ตัวแรกที่ได้จาก cholesterol) และ steroid ทั้ง 2 ชนิดนี้จะเป็ สารตั้งต้นของ steroid hormone ตัวอื่นๆต่อไป



ต่อม thyroid มีหน้าที่ในการควบคุม cholesterol metabolism ถ้ามี hypothyroidism จะมี hypercholesterolemia รักษาโดยให้ thyroid hormone

ถ้าในเลือดมีระดับ cholesterol มากเกินไป บางส่วนจะถูกขับออกทางลำไส้เล็กและบางส่วนทางน้ำดีในลำไส้เล็ก ถ้าระดับ cholesterol ในเลือดมีมากกว่าระดับปกติ (150-200 mg/100 ml) คือสูงถึง 200-300 mg/100ml จะทำให้เกิดมีการจับของ cholesterol plaques ที่ผนัง aorta เกิดเป็นพยาธิที่เรียกว่า “arterosclerosis หรือ atherosclerosis” ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิด heart failure ได้

การสังเคราะห์สารคีโตน (Ketogenesis)

ถ้ากรดไขมันจากเนื้อเยื่อไขมัน เคลื่อนย้ายมาเข้า B – oxidation ในตับมากก็จะมี acetyl COA เกิดมากเกินไปกว่าอัตราที่จะรวมกับ oxaloacetic acid ใน Kreb's cycle เช่นในรายที่เป็นโรคเบาหวาน ในระยะควบคุมไม่ได้หรือมีอาการอดอาหารอยู่นานๆ ในกรณีที่ acetyl COA ที่มากเป็นจะถูกนำไปสังเคราะห์เป็นสารคีโตนใน Mitochondria

Acetone ที่เกิดขึ้นจะถูกขับถ่ายได้ทางปอด ส่วนกรดอีก 2 ชนิดจะถูกขับถ่ายทางไต ถ้ามีสารคีโตนเกิดมากเกินไปจนสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อจะเกิดภาวะ “acidosis” ในระยะแรกคือทำให้ PH ของเลือดลดลง เกิดจากกรดชนิดต่างๆ ของ Ketone bodies ในระยะต่อมาเกิดภาวะ “Ketosis” คือจะหายใจออกมามีกลิ่น acetone ถ้ามีภาวะนี้นานจะทำให้เกิด coma และตายได้

ปัจจัยในการควบคุม Metabolism ของไขมัน

1. ต้องมีปริมาณเอนไซม์เพียงพอ และออกฤทธิ์ได้ดี เช่น Acetyl COA carboxylase เป็นเอนไซม์ที่จำเป็นในการสังเคราะห์กรดไขมัน ถ้าปริมาณลดลงเช่นในภาวะอดอาหารนานๆ หรือเป็นเบาหวาน จะทำให้การสังเคราะห์ไขมันลดลง
2. NADPH2 ต้องมีปริมาณมากพอเพราะจำเป็นในการสังเคราะห์ไลปิดทุกชนิด
3. ATP เป็นสารที่ทำงานร่วมกับ ACETYL COA carboxylase ซึ่งใช้ในการสังเคราะห์กรดไขมัน ถ้าปริมาณ ATP เพิ่มขึ้นจะมีฤทธิ์ไปยับยั้ง Isocitrate dehydrogenase ของ Kreb's cycle ทำให้มีการคั่งของ citrate ใน mitochondria เมื่อคั่งมากๆ citrate จะออกจาก mitochondria เข้ามาอยู่ใน cytoplasm ทำให้มีการเปลี่ยนแปลง citrate ไปเป็น Acetyl COA ซึ่งใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับการสังเคราะห์กรดไขมัน
4. ในภาวะอดอาหารนานๆ เป็นเบาหวาน หรือการให้ Cortisol จะช่วยเร่งการออกฤทธิ์ของ pyruvate carboxylase ซึ่งจะทำให้มี Acetyl COA มากขึ้น ทำให้มีการสังเคราะห์กรดไขมันเพิ่มมากขึ้น
5. Carbohydrate ป้องกันการเคลื่อนย้ายของกรดไขมันจากเนื้อเยื่อไขมันและทำให้มีการสังเคราะห์ Triglyceride เพิ่มขึ้น เพราะเป็นสารต้นของ glycerophosphate ในเซลล์ไขมัน
6. สอร์โมน

6.1 สอร์โมนที่ช่วยเร่งการสลายไขมันในเนื้อเยื่อไขมันคือ glucagon, thyroxine, epinephrine, norepinephrine etc. สอร์โมนเหล่านี้มีฤทธิ์กระตุ้น Adenyl cyclase ยังผลให้ hormones sensitive lipase ซึ่งมีมากในเซลล์เนื้อเยื่อไขมันถูกปลุกฤทธิ์ ก็ทำให้มีการสลายไขมันมากขึ้น

6.2 สอร์โมนที่ช่วยยับยั้งการสลายไขมันในเนื้อเยื่อไขมันคือ Insulin และ prostaglandin E₂ เชื่อว่า สอร์โมนเหล่านี้มีฤทธิ์ยับยั้ง Adenyl cyclase

ความผิดปกติเกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของไขมัน

1. ตับคั่งไขมัน (fatty liver, fatty degeneration ของตับ) มี Triglyceride คั่งอยู่ในเซลล์ตับมากซึ่งมีสาเหตุหลายประการคือ

ก. ตัวสังเคราะห์ Triglyceride เพิ่มขึ้น เนื่องจากได้รับไขมันหรือกรดไขมันเสริมมากจากอาหารหรือจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งสะสม

ข. ด้ับ oxidized กรดไขมันลดลง ซึ่งอาจจะมีสาเหตุมาจากด้ับทำงานได้ไม่ดี เช่น เมื่อถูกพิษยา หรือด้ับได้รับพลังงานเพิ่มเติมจากสารอื่น เช่น alcohol

ค. ด้ับปล่อย Triglyceride ออกไปได้น้อยลง เพราะการสังเคราะห์ lipoprotein ลดลงทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการสังเคราะห์โปรตีนลดลง หรือขาดปัจจัยในการสร้างฟอสโฟลิปิด เช่น choline หรือ Methionine การพบไขมันสะสมอยู่ในเซลล์ด้ับแสดงถึงความหย่อนสมรรถภาพของด้ับซึ่งอาจทำให้มีโรคอื่นๆตามมาด้้ง่าย

2. หลอดเลือดด้ับแข็ง

ผนังหลอดเลือดทั้งขนาดใหญ่และขนาดเล็ก จะหนาขึ้นเป็นหย่อมๆทำให้รู้เลือดค่อยๆแคบเข้าจนในที่สุด รูหลอดเลือดแดงขนาดเล็ก จะอุดตันถ้าตรวจตรงตำแหน่งที่มีพยาธิสภาพ จะพบว่าชั้นในสุดและชั้นถัดมาของหลอดเลือด (intima และ subintima) จะมี liquid สะสมอยู่ในปริมาณมากซึ่งส่วนใหญ่จะเป็น cholesterol และ phospholiquid ภาวะหลอดเลือดด้ับแข็งนี้เป็นสาเหตุสำคัญของโรคหัวใจวายด้ับพลันและอัมพาต

3. อ้วนผิดปกติ (obesity) มี triglyceride สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อไขมันมากเนื่องมาจาก

- กินมากเกินไป
- ใช้พลังงานน้อยเกินไป

ความอ้วนผิดปกติ นอกจากจะทำให้รูปร่างไม่สวยแล้ว ยังทำให้มีโรคด้ิตตามมาจากด้ับที่เกินด้้วย เช่น โรคของข้อเข่าและข้อเท้า

นอกจากนี้ยังมีพยาธิสภาพต่างๆที่เกิดจากพันธุกรรม โดยการมีไขมันสะสมอยู่ในเนื้อเยื่อบางชนิด

- xanthoma เป็นโรคที่ปรากฏตุ่มสีเหลืองเกิดขึ้นบริเวณผิวหนัง โดยเฉพาะที่หนังตา อาจเกิดขึ้นที่อวัยวะอื่นๆผู้ป่วยจะมีระดับไขมันในเลือดสูง
- Gaucher's disease เป็นมาด้ั้งแต่กำเนิด ลักษณะมีด้ับโต ม้ามโตเนื่องมาจากมีไขมันหลายชนิดสะสมอยู่ในด้ับและม้ามนั้น ส่วนใหญ่เป็นพวก cerebroside ผู้ป่วยโรคนี้ น้ำตาลใน glycoliquid จะเป็น glucose แทนที่จะเป็น galactose อย่างในคนปกติ อาจจะเป็นผลให้ catabolism ของ cerebroside ผิดปกติทำให้มี cerebroside สะสมอยู่ในเนื้อเยื่อ ปกติจะปรากฏอาการในเด็กแต่ก็มีชีวิตอยู่ด้ได้หลายปี
- Niemann – Pick disease เป็นมาแต่กำเนิด มีไขมันสะสมอยู่ที่ด้ับและม้ามซึ่งโตมาก ไขมันมีหลายชนิด เช่น phospholiquid ส่วนใหญ่เป็น lecithin และ sphingomyelin ปรากฏอาการในเด็กอ่อนและตายในเวลา 2-3 เดือน
- Tay – Sachs disease มี ganglioside สะสมมากในสมองและเซลล์ประสาท ซึ่งจะขัดขวางหน้าที่ปกติของเซลล์ เป็นผลให้เกิดความพิการทางสมอง ganglioside ที่สะสมอยู่นี้ อาจจะเป็นชนิดที่ผิดปกติ การสลายของไขมันในเซลล์ประสาทจึงผิดปกติ ทำให้มีการสะสม