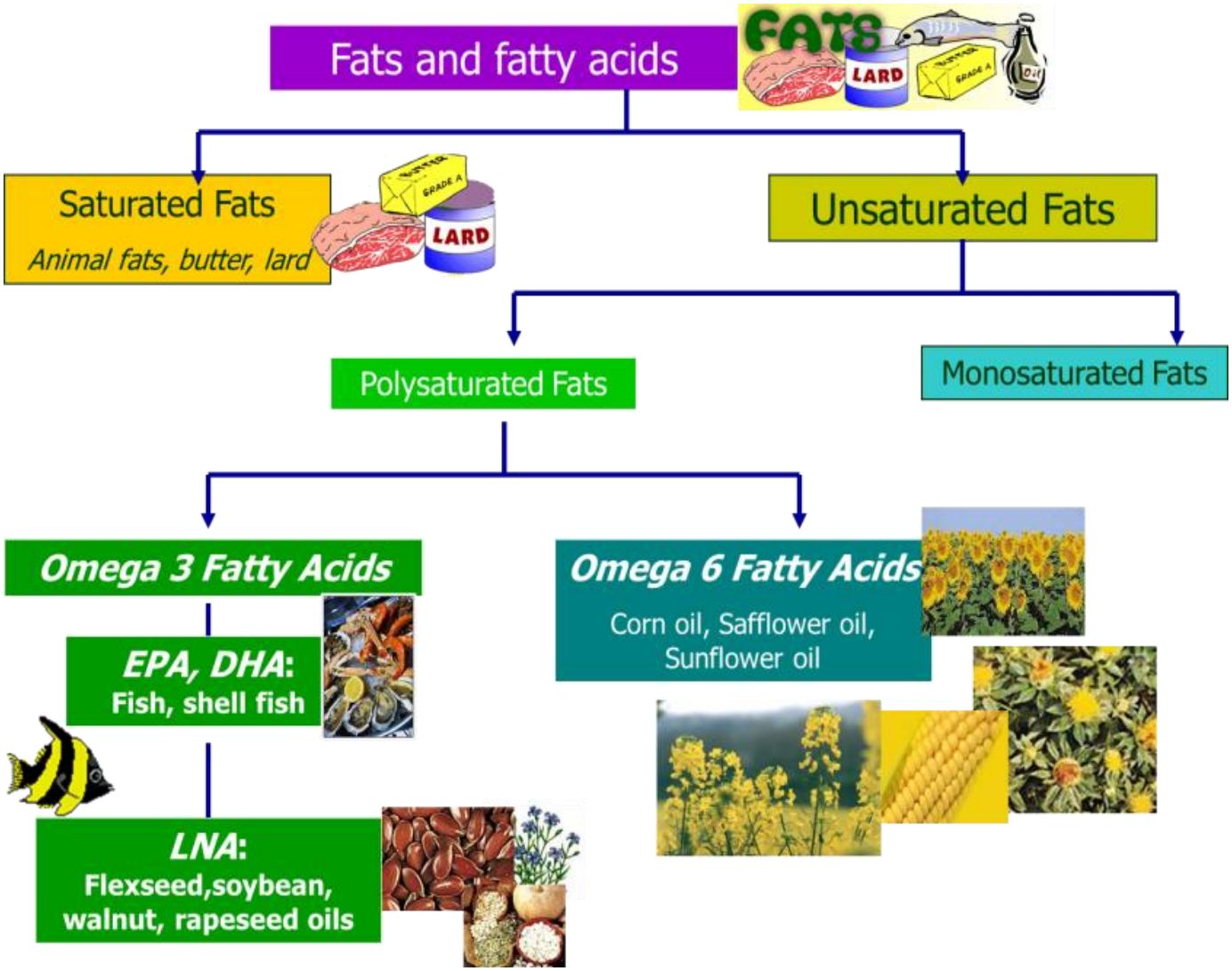
กรดไขมัน (Fatty acid)



CelFix

นพ. สุทธิพงศ์ สุขะกูล

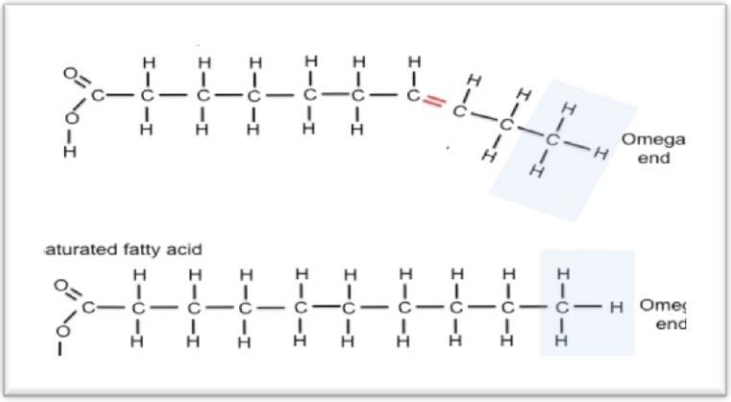
ไขมัน (lipid) เป็นสารอินทรีย์ที่มีกรดไขมันเป็นองค์ประกอบหลัก มีลักษณะเป็นมัน ไม่ละลายน้ำ แต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ (organic solvent) เช่น คลอโรฟอร์ม, เมธานอล เป็นต้น ไขมันอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวที่อุณหภูมิห้อง ขึ้นอยู่กับชนิดของกรดไขมัน ถ้ามีกรดไขมันอิ่มตัวมากจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง แต่ถ้ามีกรดไขมันอิ่มตัวไม่มากจะเป็นของเหลว ไขมันจัดเป็นสารที่ให้พลังงานแก่ร่างกายสูง ไขมัน 1 กรัมให้พลังงานถึง 9 แคลอรี่ ซึ่งสูงเป็นสองเท่าของคาร์โบไฮเดรตและโปรตีน

การแบ่งชนิดของไขมัน

1. ***แบ่งตามองค์ประกอบ*** ได้แก่
   - **โคเลสเตอรอล (Cholesterol)** ประกอบด้วยกรดไขมันกับ HMG-CoA (Hydroxymethylglutarate-coenzymeA)
   - **ไตรกลีเซอไรด์ (Triglyceride)** ประกอบด้วย กรดไขมัน3ตัวกับกลีเซอรอล (Glycerol)
   - **ไลโปโปรตีน (Lipoprotein)** ประกอบด้วย กรดไขมันกับโปรตีน
   - **ฟอสโฟไลปิด (phospholipid)** ประกอบด้วย กรดไขมันกับสารฟอสเฟตพบในเยื่อหุ้มเซลล์
   - **ชนิดอื่นๆ** เช่น กลุ่ม acylglycerol, กลุ่ม sterol เป็นต้น
2. ***แบ่งตามความหนาแน่น*** ได้แก่
   - **HDL** (High Density Lipid)
   - **IDL** (Intermediate Density Lipid)
   - **LDL** (Low Density Lipid)
   - **VLDL** (Very Low Density Lipid)

กรดไขมัน (Fatty acid) ประกอบด้วย Hydrocarbon chain ที่มี carboxyl group (-COOH) อยู่ปลายหนึ่งกับ Methyl group (CH_3)อยู่อีกปลายหนึ่ง โดยทั่วไปกรดไขมันในธรรมชาติ มีแกนโมเลกุลเป็นคาร์บอนจำนวนคู่เรียงเป็นสายยาว (Linear) ไม่แตกแขนง (Branch) ที่พบบ่อยที่สุดคือคาร์บอน 16 ตัวและ 18 ตัว

การแบ่งชนิดของกรดไขมัน



1. ***แบ่งตามความยาวของห่วงโซ่*** (Chain length)

   - **กรดไขมันสายสั้น** (Short chain fatty acid) มีแกนคาร์บอนที่มีคาร์บอนไม่เกิน6ตัว
   - **กรดไขมันสายปานกลาง** (Medium chain fatty acid) มีแกนคาร์บอนที่มีคาร์บอน 6-12 ตัวทั้งสองชนิดพบมากในไขมันจากพืชยกเว้นน้ำมันปาล์ม
   - **กรดไขมันสายยาว** (Long chain fatty acid) มีแกนที่มีคาร์บอนเกิน 12 ตัวขึ้นไปอาจมีถึง 24 ตัว พบมากในไขมันจากสัตว์ ควรหลีกเลี่ยงการบริโภค เพราะแข็งตัวง่าย

2. ***แบ่งตามความอิ่มตัว*** (Saturation)

   - **กรดไขมันอิ่มตัว** (Saturated fatty acid) คือกรดไขมันที่มีโมเลกุลจับกันด้วย single bond (ไม่มี double bond) และแขนของแกนคาร์บอนทีเหลือจะจับกับไฮโดรเจนครบทั้ง 3 แขน (เติมไม่ได้=อิ่มตัว) เช่น กรด Palmitic, กรด Stearic, กรด Arachidic, กรด Margaric เป็นต้น
   - **กรดไขมันไม่อิ่มตัว** (Unsaturated fatty acid) แกนคาร์บอนจับต่อกันด้วย Double bond หรือ Triple bond แขนของคาร์บอนที่จะจับกับไฮโดรเจนจึงลดลงไป 2 ถึง 4 ตัวต่อหนึ่ง bond ทำให้ไม่อิ่มตัว ยังทำปฏิกิริยารับส่งไฮโดรเจนได้อยู่และยังแบ่งต่อเป็นชนิดย่อยตามจำนวน double bond ได้เป็น 2 ชนิด คือ Monounsaturated fatty acid (MUFA) และ Polyunsaturated fatty acid (PUFA)

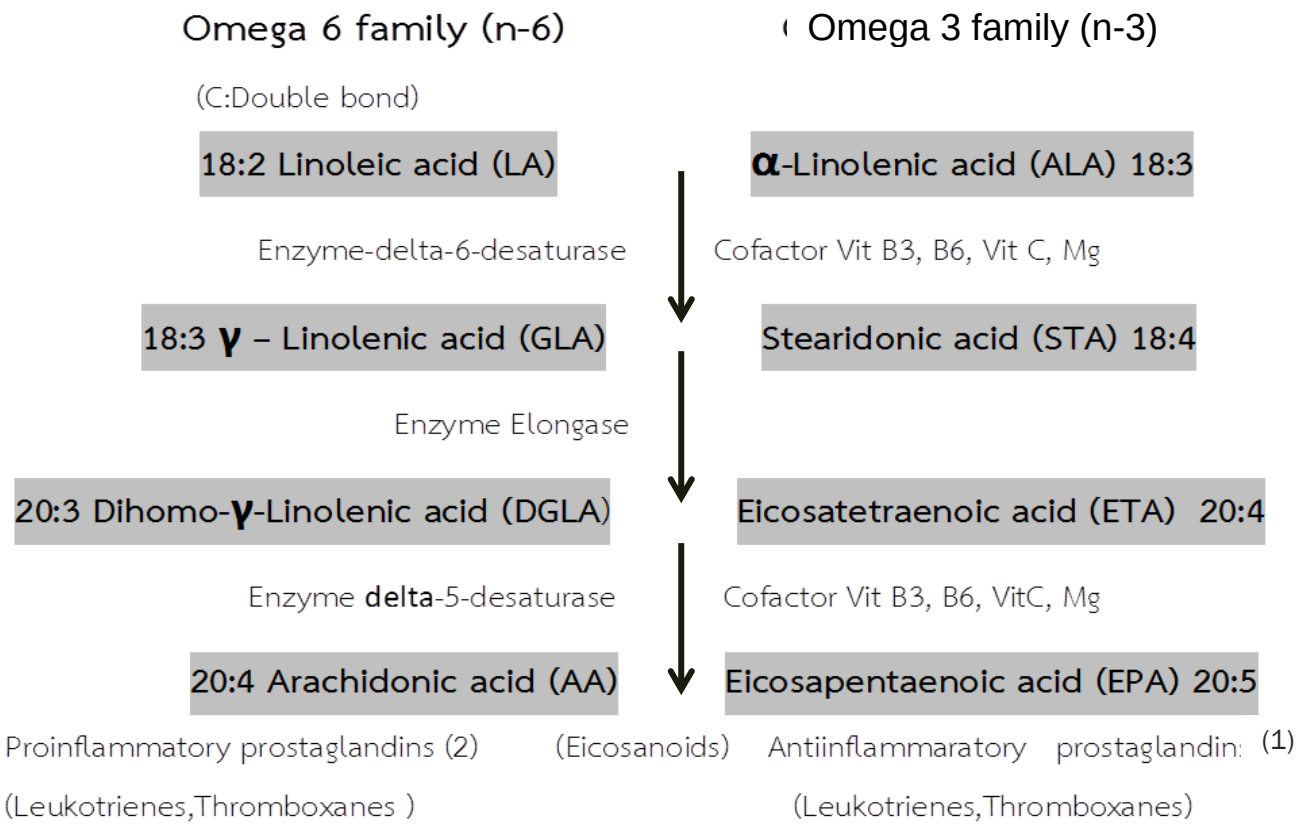
     MUFA มี Double bond เพียงอันเดียวได้แก่กรดไขมันในกลุ่มโอเมก้า9 (เช่นกรด Oleic), กลุ่ม Omega7 (เช่น กรด Palmitoleic) หรือ กรด Stearic ในกลุ่ม Trans fat

     PUFA มี Double bond หลายอันได้แก่กรดไขมันในกลุ่ม โอเมก้า3 (เช่นกรด **α**-Linolenic, กรด Eicosapentaenoic) และกลุ่มโอเมก้า 6 (กรด Linoleic, กรด Arachidonic)

ตัวเลข 3,6,7,9 แสดงถึงตำแหน่งของคาร์บอนที่มี Double bond อันแรก

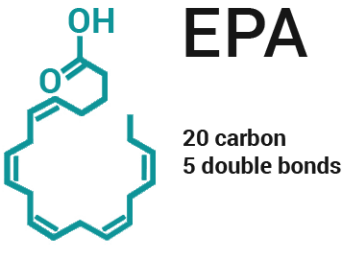
กรดไขมันจำเป็น (Essential fatty acid-EFA)

คือกรดไขมันที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้แต่สร้างเองไม่ได้ต้องได้รับจากอาหารเท่านั้นมีเพียง 2 ตัวคือ Linoleic acid (LA-**Ω**6) และ **α**-Linolenic acid (ALA-**Ω**3) ซึ่งเป็นตัวตั้งต้นของไขมันในแต่ละกลุ่ม นอกนั้นสร้างเองได้



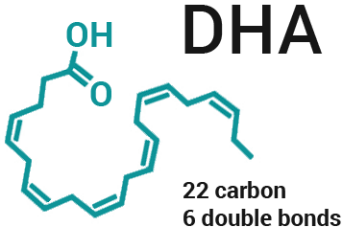
ร่างกายใช้ 20 carbon fatty acids คือ DGLA, AA และ EPAมาสร้างเป็น Eicosanoids ซึ่งถือว่าเป็น local acting hormone มีหน้าที่ควบคุมปฏิกิริยาการอักเสบทุกขั้นตอน มี half life สั้น คือ พวก Prostaglandins, Thromboxanes และ Leukotrienes

EPA (20:5 n-3) —Elongated + desaturated→ DHA (22:6 n=3) เป็นกรดไขมันสายยาวมาก และมีความไม่อิ่มตัวสูง ซึ่งมีความสำคัญมาก เป็นส่วนประกอบของเยื่อหุ้มเซลล์ควบคุม fluidity Permeability เพื่อให้สารอาหารและของเสียผ่านเข้าออกได้ ถ้าขาด DHA การสื่อสารระหว่างเซลล์จะเสียไปทำให้เกิดการเจ็บป่วย



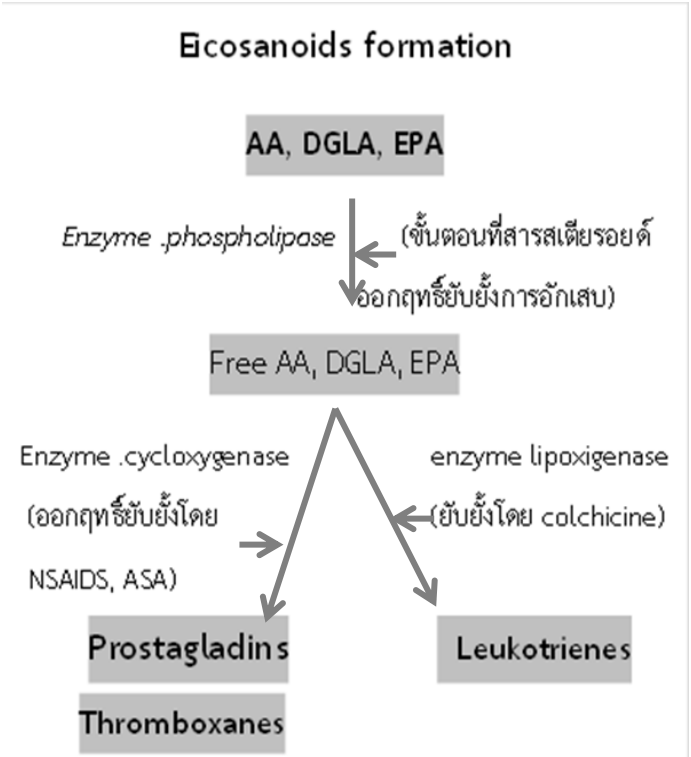
EPA

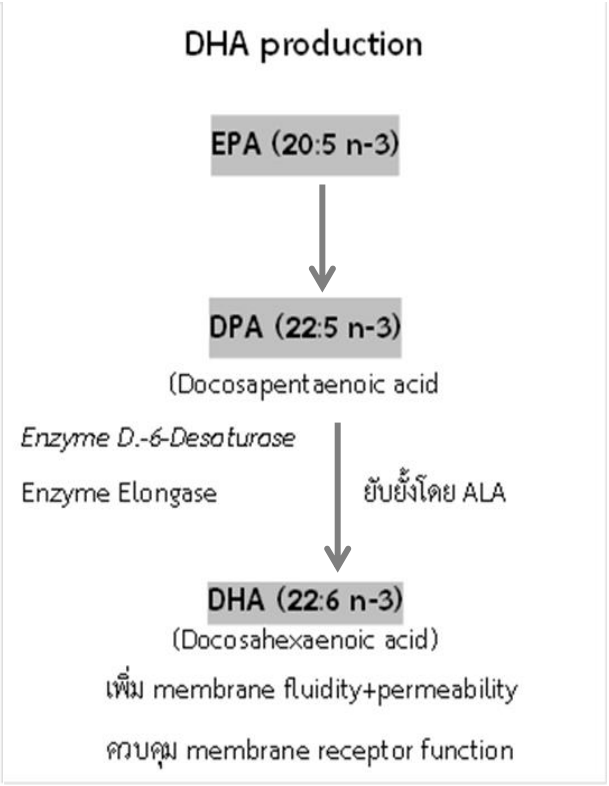
20 carbon
5 double bonds



DHA

22 carbon
6 double bonds





Delta-6-desaturase activity ลดลง เกิดได้จาก aging, alcoholism, ทานอาหารไขมันสูงหรือติดเชื้อไวรัส เช่น HIV, โรคเบาหวาน, มะเร็งบางชนิด

ผลที่ตามมาคือ

- Membrane DGLA↓ (±LA↑) → ↓Antiimflammatory proataglandins series1 (PGE1) มักพบในเด็กที่เป็น Atopic eczema เพราะขาด PEG1 ควบคุมการอักเสบ
- DHA ลดลงและ DPA กับ EPA สูงขึ้น พบในกลุ่มโรคจิตประสาท (Neuropsychiatric) เช่น อัมพฤกษ์, ซึมเศร้า, ความจำเสื่อมและ Alzheimer's

ในทารกแรกเกิดมีความต้องการ AA และDHAในปริมาณสูง เพราะใช้สร้างเยื่อหุ้มเซลล์สำหรับเซลล์ที่เกิดใหม่มากมายแต่สร้างเองไม่ได้ต้องได้จากนมแม่ และ Delta-6-desaturase ก็สร้างเองไม่ได้จนอายุถึง 6 เดือนในระหว่างตั้งครรภ์แม่ที่เป็นมังสวิรัติมีโอกาสเกิดโรคแทรกซ้อนจากการตั้งครรภ์สูงกว่าปกติ โดยถ้าสัดส่วนของ Membrane lipid DPA/AA สูง Preeclampsia จะเกิดน้อยและถ้า EPA/AA สูงโอกาสเกิด preeclampsia และ DM จะยิ่งลดน้อยลง เด็กทารกจะมีโอกาสเกิดโรคทางสมองสูงในช่วง 2 ปีแรก โดยเด็กที่มีพฤติกรรมผิดปกติ (Behavior disorder) เช่น ADHD (Attention Deficit and Hyperactivity Disorder) มักมีระดับ EPA ต่ำเพราะกินไขมันน้อย (EPA↓ Aggressive↑) สัดส่วน EPA/AA มีส่วนสัมพันธ์กับอาการซึมเศร้าในคนไข้ coronary heart disease และใช้การรักษาด้วยไขมันโอเมก้า 3 ขนาดสูง แก้อาการซึมเศร้าให้ผลดี

กรดไขมันกับระดับอินซูลิน (Insulin dysregulation)

- ถ้าระดับอินซูลินสูงหรือสูงๆต่ำๆจะทำให้เอนไซม์ δ-6-desaturase และ δ-5-desaturase เปลี่ยน LA → AA มากขึ้น เพิ่มแนวโน้มของการอักเสบพบในคนที่กินคาร์โบไฮเดรตมากเป็นประจำ มีโอกาสเป็นโรคเบาหวาน, โรคหัวใจ, โรคอ้วน
- ถ้าระดับอินซูลินต่ำหรือมีการดื้อต่ออินซูลิน (Insulin resistance) ทำให้ Delta-6-desaturase ทำงานน้อย การสร้าง DGEA ซึ่งเป็นตัวต้านการอักเสบที่ดี (Potent anti-inflammatory) ลดลง PGE1 ก็ลดลง การควบคุมการอักเสบจะเสียไป อาหารที่ทำให้เกิดการต้านอินซูลินได้แก่ อาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง, ไฟเบอร์ต่ำ, อาหารที่มีสัดส่วนโอเมก้า6 : โอเมก้า3 สูงหรือไขมันอิ่มตัวกับไขมันทรานส์สูง ดังนั้นควรเปลี่ยนเป็นอาหารที่มีไขมัน โอเมก้า 3 และ โอเมก้า 9 เช่น Olive oil จะสามารถเพิ่ม Insulin sensitivity และลดระดับน้ำตาลในเลือดได้ยังทำให้แนวโน้มของการอักเสบลดลง โดยเปลี่ยนกลุ่ม Eicosanoids ที่มาจาก AA เป็น DHA

การควบคุมการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกัน (Immune response)

การอักเสบเป็นปฏิกิริยาตอบสนองต่อการกระตุ้นจากภายนอก ที่ร่างกายไม่ยอมรับและต้องการกำจัด ต้นเหตุของการอักเสบ ต้นเหตุของการอักเสบและการรุกล้ำเข้าสู่เซลล์ซึ่ง ล้วนเป็นสารเคมีเสมอ โดย

- Cytokines จาก macrophages เป็นตัวสำคัญที่สุดในช่วงต้นของการอักเสบ
- Leukotriene B4 เป็นตัว chemotactic สำหรับ Neutrophil

Fish oil (โอเมก้า3) ลดการอักเสบได้โดยลดการสร้าง Cytokine และเปลี่ยน high inflammatory AA derivatives เป็น Anti-inflammatory EPA derivatives

โรคภูมิต้านทานเป็นพิษ (Autoimmune disease) ต่างๆ มักมีความไม่สมดุลย์ของ Eicosanoids โดยสร้าง PGE1 ลดลงแต่ PGE2 เพิ่มขึ้น ซึ่งจะกระตุ้นการทำงานของ B-lymphocyte (การควบคุมโดย T-cell เสียไป) ทำให้เกิด autoreaction ต่อเนื้อเยื่อ เกิดได้จากยาบางตัวหรือติดเชื้อไวรัสบางชนิดเช่น EBV ที่กดการสร้าง PGE1 และThromboxane2 การเสริมด้วยDGLAและEPA จะเพิ่มการสร้าง PGE1 และลดการทำงานของ Cytokines ใช้ในการรักษา Vasculitis, Amyloidosis, Scleroderma, SLE และ RA เป็นต้น

ประโยชน์ของกรดไขมันในการรักษาโรคหัวใจ

Fish oil - ลด TG, ความดันเลือด, fibrinogen และเพิ่ม HDL

EPA - ลด TG โดยกระตุ้นเอนไซม์ lipoprotein lipase และ hepatic lipase ทำให้ TG สลายและขับถ่ายเร็วขึ้น

DHA - ลด Cytokines IL-1,Il-6 และ TNF-α ทำให้การอักเสบลดลงและทำให้ monocyte adhesion ในผนังเลือดลดลงด้วย

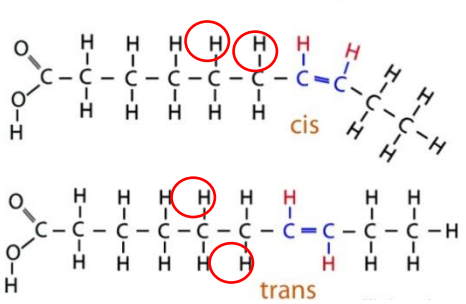
(**EPA** ⟷ **DHA** เกิดขึ้นตลอดเวลา)

สรุปว่ากรดไขมันมีความจำเป็นสำหรับ healthy cell membrane และ local hormone เด็กแรกเกิดใช้กรดไขมันเพื่อสร้างเซลล์ประสาทที่แข็งแรง คนแก่ใช้เพื่อป้องกันความเสื่อมของเซลล์ประสาทใช้ส่งสัญญาณประสาท สมดุลของกรดไขมันโอเมก้า 3,6,7,9 ไขมันอิ่มตัวและ โคเลสเตอรอลมีความสำคัญต่อการป้องกันโรคต่างๆ เช่น เบาหวาน, ความดันสูง, โรคอ้วน, Irritable bowel syndrome และโรคภูมิต้านทานเป็นพิษต่างๆ กรดไขมันจำเป็น (EFA) สามารถป้องกันและรักษาโรคเหล่านี้ได้

CIS และ TRANS Isomer ของกรดไขมัน

CIS-fatty acid โมเลกุลของไฮโดรเจนของคู่ carbon double bond อยู่ด้านเดียวกัน มีคุณสมบัติเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง

TRANS-fatty acid โมเลกุลของไฮโดรเจนของคู่ carbon double bond จะอยู่ด้านตรงข้ามกัน เป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ไม่พบในธรรมชาติ พบในกระบวนการผลิตอาหาร เช่น การเติมไฮโดรเจน (Hydrogenation) ในไขมันพืชที่เป็นไขมัน CIS เพื่อเปลี่ยนให้เป็น TRANS ใช้ในการผลิตเนยแข็ง และในการทำขนม คุกกี้ต่างๆ

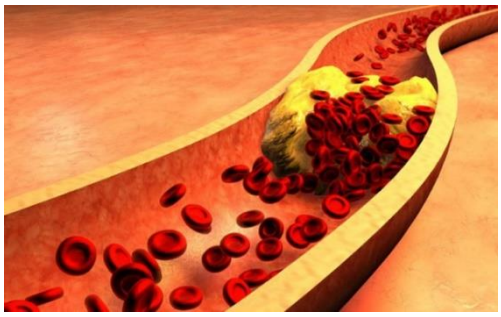


รูปmolecular chainของ CIS และ TRANS fatty acid

CHOLESTEROL

สร้างโดยตับ จากสาร Sterol (เป็นmodified steroid=sterol+OH group) ได้มาจากเยื่อหุ้มเซลล์ของสัตว์ ซึ่งมีกรดไขมันเป็นส่วนประกอบสำคัญเช่นเดียวกับเยื่อหุ้มเซลล์ของคน (ส่วน sterol จากพืช เรียกว่า Phytosterol พบในน้ำมันธัญพืชทั้งหลาย)

เมื่อสาร Sterol ทำปฏิกิริยากับเอนไซม์ HMG-CoA reductase (3-Hydroxy-3-methylglutarate Coenzyme-A reductase) ได้เป็น Cholesterol (ยากลุ่ม statins ที่ใช้ลดไขมันในเส้นเลือด ออกฤทธิ์โดยการยับยั้งเอนไซม์ตัวนี้)



ร่างกายใช้ประโยชน์จากโคเลสเตอรอลมากมาย เช่น สร้างเยื่อหุ้มเซลล์ (ใช้ในรูป phospholipids) สร้างฮอร์โมน ได้แก่ steroid hormone ต่างๆ รวมทั้ง sex hormone สร้างน้ำย่อยคือกรดน้ำดี (bile acid) และเป็นตัวควบคุมการกระตุ้น

หรือยับยั้งการอักเสบในร่างกาย คือพวก eicosanoids ต่างๆ ซึ่งถือว่าเป็น local hormone เช่น prostaglandins, thromboxanes และ leukotrienes

โคเลสเตอรอลมีคุณสมบัติเป็นของเหลวไม่ละลายน้ำ เมื่ออยู่ในเลือดจะรวมตัวกับ chylomicron ซึ่งเป็น lipoprotein มีหน้าที่นำส่งไขมันทุกชนิดที่ย่อยแล้วจากลำไส้ไปสู่ตับ และจากตับไปสู่เซลล์ทั่วร่างกาย ดังนั้นไขมันในเส้นเลือดก็คือไขมันทุกชนิดที่จับอยู่กับ chylomicron เป็น lipoprotein complex ซึ่งแบ่งชนิดตามความหนาแน่นได้เป็น 4 ชนิด คือ

1. VLDL (Very low density lipoprotein) ความหนาแน่น น้อยกว่า 1.006 gm/ml
2. IDL (Intermediate density lipoprotein) ความหนาแน่น 1.006 – 1.019 gm/ml
3. LDL (Low density lipoprotein) ความหนาแน่น 1.019 - 1.063 gm/ml
4. HDL (High density lipoprotein) ความหนาแน่น 1.063 - 1.21 gm/ml

ส่วน Apoliprotein เป็นส่วนประกอบที่ผิวของ lipoprotein มีหลายชนิด เช่น Apo A, B, C, D, E, H, L โดยแต่ละชนิดมีลักษณะ และขนาดแตกต่างกัน เพื่อจับกับไขมันชนิดต่างๆกัน เช่น ApoE2 มักจับกับ HDL และไตรกลีเซอไรด์ หรือ ApoE4 จับกับ LDL และโคเลสเตอรอล เป็นต้น

TRIGLYCERIDE

ไตรกลีเซอไรด์ ประกอบด้วย กรดไขมัน 3 ตัว (ซึ่งอาจเป็นชนิดเดียวกันก็ได้) รวมตัวกับ Glycerol (หรือเรียกว่า Glycerine) โดยที่กลีเซอรอลมีลักษณะเป็นของเหลวใส ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น แต่มีรสหวาน สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้จากวัตถุดิบที่มาจากพืชเป็นหลัก เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมยา อาหารสำเร็จรูป เครื่องสำอาง โดยเฉพาะการทำสบู่ ดังนั้นอาหารที่ประกอบด้วยไตรกลีเซอไรด์สูง ส่วนใหญ่จึงมาจากพืชและมักมีรสหวาน

Pyruvate <----------> Glycolate <----------> Glycerol
(น้ำตาล) (แป้ง) (ไขมัน)

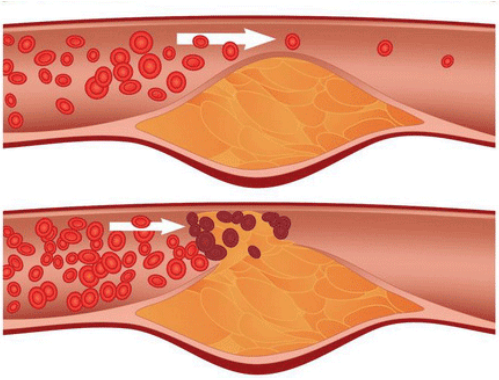
ไตรกลีเซอไรด์ยังแบ่งชนิดย่อยๆ เรียกชื่อตามกรดไขมันที่เป็นส่วนประกอบ เช่น กรดไขมันทั้งสามตัวเป็นกรดStearic เรียก Tristearin หรือกรดไขมันตัวแรกเป็น Palmitoleic อีกสองตัวเป็น Stearic เรียกว่า 1-Palmitostearin

สำหรับอาหารประเภทไขมัน ร่างกายสร้างพลังงานจากไตรกลีเซอไรด์เป็นตัวหลัก ประมาณ 9 แคลอรี่ต่อกรัม (โคเลสเตอรอลให้พลังงานได้น้อยมาก) อาหารคาร์โบไฮเดรตส่วนเกินจะถูกเปลี่ยนเป็นไตรกลีเซอไรด์ สะสมไว้ในเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) ตามส่วนต่างๆของร่างกายรวมทั้งในตับ เพื่อเก็บไว้ใช้ในยามที่ร่างกายขาดอาหารหรือสร้างพลังงานจากคาร์โบไฮเดรตไม่ได้ การส่งผ่านไตรกลีเซอไรด์ไปตามกระแสเลือด ต้องใช้ตัวนำส่งคือ Chylomicronเช่นเดียวกับโคเลสเตอรอล

สรุปว่ากรดไขมันมีความจำเป็นสำหรับ healthy cell membrane, inflammatory response, การสร้างhormone ทั้ง local และ systemic ทั้งยังเป็นพลังงานสำรองให้แก่ร่างกาย เด็กแรกเกิดยังใช้กรดไขมันเพื่อสร้างเซลล์ประสาทที่แข็งแรง คนสูงอายุใช้เพื่อป้องกันความเสื่อมของเซลล์ประสาทและใช้ส่งสัญญาณประสาท สมดุลของกรดไขมันโอเมก้า 3, 6, 7, 9

ไขมันอิ่มตัว หรือโคเลสเตอรอลและไตรกลีเซอไรด์ มีความสำคัญต่อการป้องกันโรคต่างๆ เช่น เบาหวาน, ความดันโลหิตสูง, โรคอ้วน, Irritable bowel syndrome และโรคภูมิต้านทานเป็นพิษต่างๆ กรดไขมันจำเป็น (EFA) สามารถป้องกันและรักษาโรคเหล่านี้ได้

ในปัจจุบันวงการแพทย์ทั่วโลกได้ยอมรับแล้วว่า ต้นเหตุของ atherosclerosis ในหลอดเลือด แท้จริงแล้วเริ่มต้นมาจากระดับ Homocysteine ที่สูงสะสมอยู่ในผนังหลอดเลือด ทำให้ผิว endothelium ของหลอดเลือดเกิดการอักเสบ บวม ผิวไม่เรียบเหมือนปกติ ทำให้ไขมันชนิด LDL และ IDL เกาะได้แม้ว่าระดับไขมันในเลือดไม่สูง และระดับไขมันในเลือดที่สูง จะเป็นตัวเร่งอัตราการตีบตันให้เร็วขึ้นได้แต่ต้องมีการอักเสบอยู่ก่อน



TREATMENT FOR FATTY ACIDS

Polyunsaturated Omega3	แหล่งอาหาร	ความผิดปกติ	การรักษา
Alpha Linolenic acid (ALA) (C-18:3n3) - ร่วมสร้างเยื่อหุ้มเซลล์และฮอร์โมน eicosanoid - ช่วยลดความดันลดระดับโคเลสเตอรอล ในเลือด,ลดความเสี่ยงต่อการเกิด stroke และ heart attack - ดูแล metabolism ของไขมัน ในโรคเบาหวานให้เป็นปกติและลดปริมาณความต้องการของอินซูลิน - ป้องกันโรคตับ	- น้ำมันสกัดจากต้นป่าน, ปอ, ถั่วเหลือง,จมูกข้าวสาลี, ฟักทอง, วอลนัท, black currant 	**สูง** - ความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร - ความผิดปกติของฮอร์โมน - บาดแผลหายช้า - oxidative stress	- ลดอาหารเสริม - สารต้านอนุมูลอิสระ - รักษาสาเหตุของ malabsorption (ทำให้ การดูดซึมเพิ่มขึ้น)
		ต่ำ - การทำงานของเยื่อหุ้มเซลล์ไม่เป็นปกติ - การเติบโตช้า - บุคลิกภาพผิดปกติ - การพัฒนาของสมองผิดปกติ - ปัญหาของระบบสืบพันธุ์	- Fish oil 2-3 กรัม/วัน - Flax oil 1-6 ชช./วัน
Eicosapentaenoic acid (EPA)(C-20:5n3) - เป็นสารตั้งต้นในการผลิตฮอร์โมนเฉพาะที่ (Eicosanoids) ประกอบด้วย Prostaglandins, Thromboxanes, leukotrienes	- ปลา (แซลมอน, เทร้าท์, ค้อด, ฮาลิบัต, ซาดีน ฯลฯ) - วอลนัท, ป่าน (flax) 	**สูง** - จากอาหารเสริม - กินปลามากเกินไป - การดูดซึมไขมันผิดปกติ	- ลดอาหารเสริม - สารต้านอนุมูลอิสระ - รักษาสาเหตุของ malabsorption
		ต่ำ - การอักเสบเรื้อรัง (Chronic inflammatory disorders) เช่น ข้ออักเสบ - โรคหัวใจ เช่น Cardiac arrhythmia - ความผิดปกติในระบบทางเดินอาหาร - ความผิดปกติของสมอง เช่น โรคซึมเศร้า, บุคลิกภาพผิดปกติ	- Fish oil 2-3 กรัม/วัน - Flax oil 1-6 ชช/วัน
Docosapentaenoic acid (DPA) (C 22:5 n3) - มีส่วนในการพัฒนาระบบประสาทโดยช่วยการทำงานของเยื้อหุ้มเส้นใยประสาท	- ปลา นมแม่ 	**สูง** - อาหารเสริม,กินปลามากเกินไป, การดูดซึม ไขมันผิดปกติ	- ลดอาหารเสริม - สารต้านอนุมูลอิสระ - รักษาสาเหตุของ malabsorption
		ต่ำ - ขาดสมาธิ (Attention deficit disorder) - ความผิดปกติในระบบการมองเห็น (Visual system)	- Fish oil 2-3 กรัม/วัน

Polyunsaturated Omega3	แหล่งอาหาร	ความผิดปกติ	การรักษา
Docosahexaenoic (DHA) (C22:6 n3) - มีส่วนในการพัฒนาระบบประสาท	- ปลา นมแม่ 	**สูง** - อาหารเสริม, กินปลามากเกินไป, การดูดซึม ไขมันผิดปกติ	- ลดอาหารเสริม - สารต้านอนุมูลอิสระ - รักษาสาเหตุของ malabsorption
		ต่ำ - เติบโตช้า - ความผิดปกติของสมอง เช่น พฤติกรรม ผิดปกติ, ขาดสมาธิ	- Fish oil 2-3 กรัม/วัน
Polyunsaturated Omega6 **Linoleic acid (LA) (C 18:2 n6)** - เป็นกรดไขมันไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีมากที่สุด ในร่างกาย	- ดอกทานตะวัน, คำฝอย, primrose, olive, black currant, ปอป่าน (flax, hemp), ข้าวโพด, ถั่วเหลือง, ถั่วลิสง, อัลมอนด์, มะพร้าว, ฟักทอง, มะม่วงหิมพานต์, จมูกข้าวสาลี, อะโวคาโด, องุ่น	**สูง** - กระตุ้นการอักเสบ (Pro-inflammatory effects)	- ลดการบริโภคน้ำมัน จากพืชต่างๆ
		ต่ำ - ผื่นคัน ผมร่วง บาดแผลหายช้า พฤติกรรม แปรปรวน โรคหัวใจ ตับไตเสื่อม ติดเชื้อง่าย เติบโตช้า ความดันสูง	- น้ำมันข้าวโพด, evening primrose, black currant
Gamma Linoleic acid (GLA)(C 18:3 n6) - เป็นสารตั้งต้นของ Eicosanoid	- evening primrose, black current, ปอ (hemp), แอปเปิ้ล, กล้วย, ลูกพีช, เมล่อน, เชอรี่, borage 	**สูง** - จากอาหารเสริม	- ลดอาหารเสริม - ให้ Omega 3 เพื่อให้สมดุลกับ GLA
		ต่ำ - เติบโตช้า, สายตาไม่ปกติ, โรคระบบประสาท (ทั้ง motor และ mental), โรคหัวใจ, ภูมิต้านทานผิดปกติ, ข้ออักเสบ และการอักเสบ เรื้อรัง (Chronic inflammatory disorders), ความดันสูง, ผมแห้ง ผิวแห้ง, ปัญหาในระบบสืบพันธุ์	- evening primrose, black current oil - ห้ามให้ Ω6 กับผู้ป่วยโรคมะเร็ง ให้ Ω3 ได้ (เพราะ Ω3 กดมะเร็งแต่ Ω6 กระตุ้น)
Eicosadienoic acid (EDA))(C 20:2 n6) - เป็นสารตั้งต้นของ DGLA - กดเอนไซม์ Desatarase	- มาจาก DGLA pathway	**สูง** - กินอาหารไขมันน้อยเกินไป ร่วมกับการเกิด Desaturation มาก	- Zn 30 มก/วัน
		ต่ำ - กินกรด Linoleic น้อยหรือขาด ธาตุ Zn - ไม่มีอาการ ถ้าระดับ DGLA ปกติ	- evening primrose, black current

Monounsaturated fatty acids	แหล่งอาหาร	ความผิดปกติ	การรักษา
Palmitoleic (Omega7) (C16:1n7)	-	**สูง** - ขาดกรดไขมันจำเป็น - โรคแผลในกระเพาะ, โรคหัวใจ (CHF)	- เพิ่มกรดไขมัน Ω3 เพื่อให้สมดุลกับ GLA
		ต่ำ - ปวดเวียนหัว, เครียด, ความดันสูง, บวม, CHF, น้ำตาลในเลือดสูง, บาดแผลหายช้า, hypercortisolemia, ลักษณะ cushinoid, ประจำเดือนไม่สม่ำเสมอ, สิว	- เพิ่มกรดไขมันจำเป็น (Ω3, Ω6)
Vaccinic acid (Omega7) (C18:1n7)	- เมล็ดพืช, ฟักทอง ถั่ว, เบอรี่, มะพร้าว จมูกข้าวสาลี 	**สูง** - ป้องกันมะเร็ง	-
		ต่ำ - ขาดวิตามิน B7 - ทำให้กระบวนการใช้กรดไขมันตัวอื่นๆ บกพร่อง	- Vit.B7 500 มก/วัน - olive oil
Oleic acid (Omega 9)(C18:1n9)	- เมล็ดพืชต่างๆ, ฝ้าย, ป่านปอ,ข้าวโพด,ถั่ว, เบอรี่,มะพร้าว,ฟักทอง, จมูกข้าวสาลี, อะโวคาโด, Olive, primrose,	**สูง** - บริโภคมากเกินไป	-
		ต่ำ - อาจเพิ่มความเสี่ยงของโรคกระเพาะอาหาร	- น้ำมันมะกอก (olive oil)
Eicosaenoic acid(Omega 9)(C20:1n9) - เป็น product ของกรด Arachidic - เพิ่ม membrane fluidity	-	**สูง** - เกิดจากการคุมอาการมากเกินไป	- เพิ่มการบริโภค
		ต่ำ - ขาดกรดไขมันจำเป็นเนื่องจากเอาไป เปลี่ยนเป็น Mead acid	- กรดไขมันจำเป็น
Erucic acid (Omega 9) (C22:1 n9)	- น้ำมันจากเมล็ดของ Rapefruit, อะโวคาโด 	**สูง** - Zellweger syndrome (เป็น inborngenetic disease ที่เซลล์ขาด peroxisome)	- Lorenzo's oil
Nervonic acid (Omega9) (C24:1 n9) - การพัฒนาของระบบประสาท (Neurological development)	-	**สูง** - ความผิดปกติทางกรรมพันธุ์ของ metabolism ของกรดไขมัน - ความผิดปกติของระบบประสาท -Adrenoleukodystrophy	- Conjugated linoleic acid (CLA) 1-3 กรัม/วัน
		ต่ำ - เกิดความผิดปกติของกระบวนการ Desaturation ของกรดไขมัน	- กรดไขมันจำเป็น

Saturated fatty acids	แหล่งอาหาร	ความผิดปกติ	การรักษา
Capric acid(C10:0) - สร้างเป็น medium chain fatty acyl carnitine transferase ก่อน แล้วจึงผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ เข้าไปสร้างพลังงานภายใน mitochondria (Mitochondrial oxidation)	- ผักเกือบทุกชนิด - เนยเหลว 	**สูง** - ขาด Medium chain acyl-coenzyme A dehydrogenase deficiency (MAD) - ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง - ระดับอินซูลินในเลือดสูง	- Vit.B2 150 มก./วัน - Carnitine 1-2 กรัม/วัน - Vit.B3 50 มก./วัน
Lauric acid (C12:0) - สร้างเป็น Medium chain fatty acyl carnitine transferase	- มะพร้าว,เนยแข็ง, ปาล์ม 	**สูง** - ขาด MAD - ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง -ระดับอินซูลินในเลือดสูง	- Vit.B2 150 มก./วัน - Carnitine 1-2 กรัม/วัน - Vit.B3 50 มก./วัน
Myristic acid (C14:0) - สร้างเป็น Medium chain fatty acyl carnitine transferase	- ลูกจันทร์,ปาล์ม, มะพร้าว, myrtle	**สูง** - ขาด MAD -ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง -ระดับอินซูลินในเลือดสูง	- Vit.B2 150 มก./วัน - Carnitine 1-2 กรัม/วัน - Vit.B3 50 มก./วัน
Palmitic acid (C16:0) - สร้างเป็น Long chain fatty acyl carnitine transferase	- มะพร้าว, ปาล์ม, ฟักทอง, ถั่วเหลือง , วอลนัท, ป่าน, ปอ, black currant 	**สูง** - ระดับไตรกลีเซอไรด์ และ LDL สูง - ระดับอินซูลินสูง - Mitochondrial dysfunction - โรคหัวใจ, เส้นเลือดตับแข็ง, stroke - ภาวะซึมเศร้า - Chronic inflammatory disorders	- ลดอาหารที่มีไขมันอิ่มตัว - เพิ่มกรด Linoleic - Vit.B3 50 มก./วัน - ออกกำลังกาย
Stearic acid (C18:0) - สร้างเป็น Long chain fatty acyl carnitine transferase	- ไขมันสัตว์,เมล็ดฝ้าย ปอ,ป่าน, วอลนัท, ถั่วลิสง, ถั่วเหลือง, อัลมอนด์, ข้าวโพด, เมล็ดทานตะวัน, คำฝอย, อะโวคาโด, องุ่น, จมูกข้าว, น้ำมันมะกอก,	**สูง** - ระดับไตรกลีเซอไรด์ในเลือดสูง - ระดับอินซูลินในเลือดสูง - Mitochondrial dysfunction	- ลดอาหารที่มีไขมัน อิ่มตัว - Vit.B3 50 มก./วัน - ออกกำลังกาย
		ต่ำ - เพิ่ม membrane fluidity ซึ่งอาจเกี่ยวข้อง กับการเกิดมะเร็ง	- เพิ่มจากอาหาร
Arachidic acid (C20:0) - สร้างเป็น Long chain fatty acyl carnitine transferase	- ถั่วลิสง 	**สูง** - กินถั่วลิสงมากเกินไป - จากการขาดกรดไขมัน - เกิดความบกพร่องในการสร้างพลังงานจากไขมันสายยาวใน peroxisome (peroxisomal beta oxidation) - กดการทำงานของเอนไซม์ Omega6 desaturase	- ลดการบริโภคถั่ว

Saturated fatty acids	แหล่งอาหาร	ความผิดปกติ	การรักษา
Behenic acid (C22:0) - สร้างพลังงานโดย peroxisomal oxidation - ใช้สร้างสาร sphingolipids สำหรับหุ้มเส้นประสาท (nerve membrane) - ใช้ในการทดสอบเด็กแรกเกิดเกี่ยวกับ peroxisomal disorders	- ถั่วและเมล็ดพืช 	**สูง** - โรคความเสื่อมของระบบประสาทส่วนกลาง - peroxisomal oxidation บกพร่อง - โรค Adrenoleukodystrophy ในเด็ก และ Adrenomyeloneurpathy ใน	
Ligonoceric acid (C24:0) - สร้างพลังงานโดย peroxisomal oxidation - ใช้สร้างสาร sphingolipids - ใช้ในการทดสอบเด็กแรกเกิดเกี่ยวกับ peroxisomal disorders	- ถั่วลิสง, ถั่วบราซิล (Brazil nut) 	**สูง** - โรคความเสื่อมของระบบประสาทส่วนกลาง - peroxisomal oxidation บกพร่อง - โรค Adrenoleukodystrophy และ Adrenomyeloneurpathy	- ลดการบริโภคถั่วลิสง และถั่วบราซิล - Lorenzo'oil - น้ำมันเมล็ดมาสตาด (Mustardseedoil)
Hexacosanoic acid (C26:0) - สร้างพลังงานโดย peroxisomal oxidation - ใช้สร้างสาร sphingolipids - ใช้ในการทดสอบเด็กแรกเกิดเกี่ยวกับ peroxisomal disorders	-	**สูง** - โรคความเสื่อมของระบบประสาทส่วนกลาง - peroxisomal oxidation บกพร่อง - โรค Adrenoleukodystrophy	- Lorenzo'oil - Mustardseedoil
Odd chain Saturated fatty acids **Pentadecanoic acid (C15:0)** **Heptadeconoic acid (C17:0)** **Nonadecanoic acid (C19:0)** **Heneicosanoic acid (C21:0)** **Tricosanoic acid (C23:0)**	-	**สูง** - Intestinal bacterial overgrowth - การดูดซึม VitB3 และ B12 ผิดปกติ - มีการสะสมของสาร propionate - ระบบประสาททำงานผิดปกติ - อาการที่เกี่ยวข้องกับความไม่สมดุลของแบคทีเรียในลำไส้ - ความผิดปกติจากการขาดวิตามิน และ สารอาหารต่างๆ	- Vit.B2 50 มก/วัน - Vit.B7 1000 ไมโครกรัม/วัน - Vit.B12 1000 ไมโครกรัม/วัน - L-Carnitine 500 มก/วัน - Probiotic - ลดอาหารเนื้อสัตว์ และผลิตภัณฑ์จากนม

Fatty acids ratio	สาเหตุ	ความผิดปกติ	การรักษา
LA/DGLA - Maker ของ Zn deficiency (การเปลี่ยน LA ไปเป็น DGLA ต้องใช้เอนไซม์ Zn-dependent Omega6 desaturase)	**สูง** - การขาดธาตุ Zn - กรดไขมัน Monoenoic acid หรือ transfat มีมากเกินไป - กรดไขมัน Omega 6	- การเปลี่ยน LA ไปเป็น DGLA ทำได้ น้อยลง	- Black currant oil - Evening primrose oil - Zn 30 มก./วัน
EPA/DGLA - ใช้ดูสมดุลของ omega3 ต่อ omega6	**สูง** - ได้รับอาหารเสริม fish oil มาก เกินไป - กินอาหารที่มี GLA น้อยเกินไป		- Black currant oil - Evening primrose oil
	ต่ำ - กินอาหารที่มี omega 3 น้อยเกินไป หรือกิน		- Fish oil 2-3 กรัม/วัน
AA/EPA - ใช้ดูสมดุลของ omega3 : omega6	**สูง** - กินอาหารที่มี LA หรือ AA มาก ไป เช่น corn oil หรือเนื้อแดง - กินหารที่มี omega3 น้อยไป	- ผิวหนังแห้ง คัน โดยเฉพาะอากาศหนาว	- Fish oil
	ต่ำ - Eicosanoid imbalance	- การตอบสนองภูมิต้านทานลดลง	- Black currant oil - Evening primrose oil - ลด Fish oil
Triene/Tetraene (Mead/AA)	**สูง** - ขาดกรดไขมันจ้าเป็น		- กรดไขมันจำเป็น