eBook

โอเดียนสโตร์

หลักโภชนศาสตร์

ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์
ดร.วิบูลย์ รัตนาปนนท์

หลักโภชนศาสตร์

เรียบเรียงโดย

ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์

และ

ดร.วิบูลย์ รัตนาปนนท์

สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

วังบูรพา : 860-862 ถนนมหาไชย วังบูรพา กรุงเทพมหานคร 10200

โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567 แฟ็กซ์ 0-2225-3300

ปิ่นเกล้า : 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี บางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700

โทร. 0-2434-8814-5 แฟ็กซ์ 0-2424-0152

หลักโภชนศาสตร์

ดร.นิธิยา รัตนาปนนท์ และ **ดร.วิบูลย์ รัตนาปนนท์**

ราคา 200 บาท

จัดทำเป็นฉบับ E-Book ครั้งที่ 1 เดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2568

• *หนังสือเล่มนี้สงวนสิทธิ์ตาม พ.ร.บ. ลิขสิทธิ์ พุทธศักราช 2558*
ห้ามผู้ใดพิมพ์ซ้ำ ลอกเลียน ส่วนใดส่วนหนึ่งของหนังสือเล่มนี้
ไม่ว่าในรูปแบบใด ๆ นอกจากจะได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรเท่านั้น •

ข้อมูลทางบรรณานุกรมของหอสมุดแห่งชาติ
National Library of Thailand Cataloging in Publication Data

นิธิยา รัตนาปนนท์.
หลักโภชนศาสตร์.-- กรุงเทพฯ : โอเดียนสโตร์, 2568.
512 หน้า.
1. โภชนาการ. I. วิบูลย์ รัตนาปนนท์, ผู้แต่งร่วม. II. ชื่อเรื่อง.
641.1
ISBN (e-book) 978-616-538-343-1

ผู้จัดพิมพ์และจัดจำหน่าย สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์

บรรณาธิการบริหาร : ประสาร สันติวัฒนา **บรรณาธิการ** : ภูสิทธิ พลายชมภู **กองบรรณาธิการ** : สนธยา ราษีทอง ธิติมา เพ็ชรศรี **พิสูจน์อักษร** : จิระภรณ์ ศักดิ์แก้ว **ฝ่ายศิลปกรรม** : ธีรพล ศรีสวัสดิ์ ประยง อ่อนแสง ปัญญา ผูกสินธ์ เอกพันธ์ ขวาเปาะ **รูปเล่มและอาร์ตเวิร์ค** : ชัยวัฒน์ แก้วกู่ **เรียงพิมพ์** : ณศวรรณ พลสมัคร **ออกแบบปก** : กองสุพันธ์ ขวาเปาะ **ประสานงานการผลิต** : ปิยะวัลย์ พันธ์แจ่ม กัญญา วงศ์ภาคำ อรณา คงสุวรรณ์

สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ขอเรียนเชิญครู-อาจารย์และบุคคลทั่วไปทุกท่านที่สนใจในงานเรียบเรียงการเขียนเอกสารประกอบการสอน เอกสารคำสอน ตำรา หนังสือ รายงานการพัฒนา นวัตกรรม งานประดิษฐ์ รวมทั้งผลงานทางวิชาการทุกสาขา และมีผู้ทรงคุณวุฒิตรวจผลงานถูกต้องตามหลักวิชาการให้อีกด้วย ทั้งนี้ให้ส่งสำเนาต้นฉบับ ประวัติ สถานที่ทำงาน เบอร์โทรศัพท์ ที่อยู่สามารถติดต่อได้สะดวกมาในนาม **บรรณาธิการ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ 1/35-39 ถนนบรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700**

ในกรณีที่ท่านต้องการซื้อเป็นจำนวนมาก เพื่อใช้ในการสอน การฝึกอบรม และส่งเสริมการขาย เป็นต้น กรุณาติดต่อสอบถามราคาพิเศษได้ที่ สำนักพิมพ์โอเดียนสโตร์ทุกสาขา : **สาขาปิ่นเกล้า** โทร. 0-2434-8814-5; **สาขาวังบูรพา** โทร. 0-2221-0742, 0-2221-6567

คำนำ

เนื่องจากหนังสือ **โภชนศาสตร์เบื้องต้น** ได้จัดพิมพ์ขึ้นครั้งแรกตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 ซึ่งผ่านมานานกว่า 15 ปีแล้ว ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา มีผลงานวิจัยค้นคว้ามากมายที่เกี่ยวกับเรื่องบทบาทและหน้าที่ของสารอาหารต่างๆ ที่จำเป็นต่อร่างกาย จึงได้นำหนังสือโภชนศาสตร์เบื้องต้นมาปรับปรุงและเพิ่มเติมเนื้อหาให้มีความรู้ที่ทันสมัยและมีรายละเอียดบางหัวข้อมากขึ้น และเปลี่ยนชื่อเป็น **หลักโภชนศาสตร์** รวมทั้งได้ตัดเนื้อหาบางส่วนของหนังสือเล่มเดิมออกไป

ความรู้ทางด้านโภชนศาสตร์มีความสำคัญมากและจำเป็นต่อคนทุกๆ คน เพื่อจะได้นำความรู้ไปใช้ในการเลือกอาหารบริโภคให้เหมาะสมกับสุขภาพของตนเอง เพราะอาหารจะช่วยทำให้ร่างกายมีสุขภาพดี แข็งแรง และจะช่วยป้องกันโรคต่างๆ ที่มีสาเหตุมาจากการบริโภคอาหารไม่ถูกต้องตามหลักโภชนาการได้ ซึ่งหากคนเราไม่ให้ความสำคัญในการเลือกอาหารบริโภคให้ถูกต้องและเพียงพอต่อความต้องการของร่างกาย จะส่งผลเสียต่อร่างกายในระยะยาว และเป็นจุดเริ่มต้นที่ทำให้เกิดโรคเรื้อรังต่างๆ ได้ง่าย ส่งผลให้เกิดโรคแทรกซ้อนตามมาในภายหลังอีกด้วย การขาดสารอาหารแต่ละชนิดจะส่งผลเสียทำให้เกิดโรคเฉพาะ เช่น การขาดวิตามินบีหนึ่งทำให้เป็นโรคเหน็บชา หรือการขาดวิตามินเอเป็นระยะเวลานานทำให้เป็นโรคตาบอดกลางคืน หรือการขาดไอโอดีนทำให้เกิดโรคคอพอก เป็นต้น

ดังนั้น วิชาโภชนศาสตร์ จึงควรสอนให้นักศึกษาทุกคนได้ทราบและตระหนักถึงความสำคัญว่าทุกคนจำเป็นต้องมีความรู้ด้านโภชนศาสตร์ โดยเฉพาะครู อาจารย์ และผู้ที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพของประชาชน เช่น นักวิทยาศาสตร์การอาหาร นักพัฒนาผลิตภัณฑ์อาหาร นักวิทยาศาสตร์สุขภาพ พยาบาล รวมทั้งผู้ที่รักสุขภาพทุกคน

หนังสือเล่มนี้มีเนื้อหาประกอบด้วยเรื่อง ส่วนประกอบของร่างกาย พฤติกรรมการกินอาหาร อาหารและสารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย พลังงานที่ร่างกายต้องการ กระบวนการย่อยและการดูดซึมสารอาหาร บทบาทและหน้าที่ของสารอาหารแต่ละชนิดในร่างกาย ได้แก่ น้ำ คาร์โบไฮเดรต ลิพิด โปรตีน การประเมินคุณภาพของโปรตีน แร่ธาตุต่างๆ วิตามินต่างๆ อาหารของกลุ่มบุคคลพิเศษ เช่น ทารก เด็กวัยก่อนเรียน หญิงมีครรภ์ หญิงให้นมบุตร และคนชรา รวมทั้งการประเมินภาวะทางโภชนาการ

ผู้เรียบเรียงหวังเป็นอย่างยิ่งว่า หนังสือเล่มนี้จะเป็นประโยชน์ ต่อ ครู อาจารย์ นักศึกษา และผู้สนใจที่ให้ความสำคัญในการเลือกบริโภคอาหารที่มีประโยชน์และปลอดภัยต่อร่างกาย เพื่อให้ร่างกายแข็งแรง มีสุขภาพดี และดำรงชีวิตได้มีอายุยืนยาวตลอดไป

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพ็ญศิริ ศรีบุรี ที่ช่วยตรวจทานต้นฉบับ คุณตระกูล พรมจักร และคุณปัฐมาภรณ์ กองเจริญ ที่ช่วยจัดทำดัชนีคำ

ดร. นิธิยา รัตนาปนนท์
ดร. วิบูลย์ รัตนาปนนท์

สารบัญเรื่อง

หน้า

บทที่ 1 บทนำ 1

บทที่ 2 ส่วนประกอบของร่างกาย 3

ส่วนประกอบของร่างกายระดับอะตอม 3

ส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล 4

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเซลล์ 9

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อ 11

ส่วนประกอบระดับร่างกาย 14

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของร่างกายแต่ละระดับ 14

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย 14

เอกสารประกอบการเรียบเรียง 19

บทที่ 3 น้ำและอิเล็กโทรไลต์ในร่างกาย 21

การกระจายตัวของน้ำในร่างกาย 22

อิเล็กโทรไลต์ในร่างกาย 23

การรักษาภาวะสมดุลของอิเล็กโทรไลต์ 24

ภาวะสมดุลของน้ำในร่างกาย 25

ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลของน้ำในร่างกาย 26

หน้าที่ของน้ำในร่างกาย 27

ความต้องการน้ำของร่างกาย 28

ปัจจัยที่ทำให้ร่างกายต้องการน้ำมากกว่าปกติ 29

ปริมาณน้ำในอาหาร 29

อาการที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายขาดน้ำและได้รับน้ำมากเกินไป 29

เอกสารประกอบการเรียบเรียง 32

บทที่ 4 พฤติกรรมการกินอาหาร 33

การควบคุมการกินอาหาร 33

ความหิว ความอิ่ม และความอยากกิน 34

กลไกการเกิดความหิว 35

ขั้นตอนการควบคุมความหิว ความอยากกิน และความอิ่ม 36
ปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมการกิน 36
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 41

บทที่ 5 อาหารและสารอาหาร 43
หน้าที่ของสารอาหารในร่างกาย 43
สารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย 45
อาหารปรุงและอาหารปรุงสมดุล 47
อาหารหลัก 5 หมู่ สำหรับคนไทย 47
โภชนบัญญัติ 9 ประการ 49
วิธีการสำรวจตนเองว่ากินอาหารในแต่ละวันครบ 5 หมู่หรือไม่ 50
Food Pyramid และ MyPyramid 55
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 56

บทที่ 6 ความต้องการพลังงานของร่างกาย 57
หน่วยของพลังงาน 58
ค่าพลังงานของสารอาหาร 59
วิธีคำนวณพลังงานจากสารอาหาร 61
ค่าพลังงานของอาหาร 62
ความหนาแน่นของพลังงาน 64
วิธีคำนวณค่าพลังงานของอาหารจากเปอร์เซ็นต์ความชื้น 64
การสะสมพลังงานในร่างกาย 65
Respiratory Quotient 66
วิธีคำนวณหาสารอาหารที่ถูกออกซิไดส์ในร่างกาย 69
Basal Metabolism 71
ปัจจัยที่มีผลต่อค่า BMR 74
Thermic effect หรือ Specific Dynamic Action (SDA) ของอาหาร 79
ความต้องการพลังงานสำหรับทำกิจกรรม 80
ภาวะสมดุลของพลังงาน 83
จำนวนพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายต้องการ 84
วิธีคำนวณหาจำนวนพลังงานที่ร่างกายต้องการ 87
การควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย 90
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 91

บทที่ 7 กระบวนการย่อยและการดูดซึมอาหาร 93
อวัยวะในระบบทางเดินอาหาร 93
กระบวนการย่อยอาหาร 94
การย่อยในช่องปาก 95
การย่อยในกระเพาะอาหาร 99
การย่อยในลำไส้เล็ก 105
สารโมเลกุลเดี่ยวที่ได้จากกระบวนการย่อยอาหาร 117
การเคลื่อนย้ายสารอาหารในระบบทางเดินอาหาร 117
กระบวนการดูดซึมสารอาหาร 118
กลไกของการดูดซึมสารอาหาร 119
การดูดซึมคาร์โบไฮเดรต 122
การดูดซึมไขมัน 124
การดูดซึมกรดแอมิโนและโปรตีน 125
ลำไส้ใหญ่ 126
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 131

บทที่ 8 คาร์โบไฮเดรต 133
การจำแนกชนิดของคาร์โบไฮเดรต 134
คุณค่าทางโภชนาการของคาร์โบไฮเดรต 135
แหล่งของอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรต 135
การย่อยคาร์โบไฮเดรต 135
สมบัติของน้ำตาล 138
การดูดซึมของคาร์โบไฮเดรต 139
ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการดูดซึมของคาร์โบไฮเดรต 140
ระดับของน้ำตาลในเลือด 140
เมแทบอลิซึมของน้ำตาลกลูโคส 144
หน้าที่ของคาร์โบไฮเดรต 148
เมแทบอลิซึมของน้ำตาลฟรักโทส 149
เมแทบอลิซึมของน้ำตาลกาแล็กโทส 150
เส้นใยอาหาร 150
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 152

บทที่ 9 ลิพิด 153
กรดไขมัน 154
แหล่งของลิพิดในอาหาร 156
คอเลสเตอรอล 157
การย่อยลิพิด 159
การดูดซึมและการขนย้ายลิพิด 160
เมแทบอลิซึมของไตรกลีเซอไรด์ 163
การสะสมลิพิด 164
ไขมันพอกตับ 167
คีโทนบอดีส์ 168
หน้าที่ของลิพิด 171
ปริมาณไขมันที่ควรบริโภค 172
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 172

บทที่ 10 โปรตีน 173
การจำแนกชนิดของกรดแอมิโน 173
การจำแนกชนิดของโปรตีน 177
สมบัติของโปรตีน 178
โปรตีนในร่างกาย 179
การย่อยและการดูดซึม 179
กรดแอมิโนจำเป็น 182
เมแทบอลิซึมของกรดแอมิโน 184
แหล่งของอาหารที่ให้โปรตีน 187
หน้าที่ของโปรตีน 190
การผันเวียนของโปรตีน 193
ภาวะสมดุลของไนโตรเจน 196
ความต้องการโปรตีนของร่างกาย 198
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 200

บทที่ 11 การประเมินคุณภาพของโปรตีน 201
คุณภาพของโปรตีน 201
คุณภาพของโปรตีนจากพืช 203

การประเมินคุณภาพของโปรตีน 204
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 216

บทที่ 12 แร่ธาตุ 217
หน้าที่ของแร่ธาตุ 217
ความเป็นพิษของแร่ธาตุ 221
แคลเซียม 221
ฟอสฟอรัส 232
โซเดียม 236
โพแทสเซียม 239
คลอรีน 241
แมกนีเซียม 243
กำมะถัน 247
เหล็ก 249
ไอโอดีน 259
สังกะสี 263
ทองแดง 269
แมงกานีส 272
โครเมียม 273
ฟลูออรีน 275
โคบอลต์ 277
โมลิบดีนัม 278
ซีลีเนียม 280
โบรอน 284
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 286

บทที่ 13 วิตามินที่ละลายในไขมัน 287
การจำแนกชนิดของวิตามิน 288
ปัจจัยที่มีผลต่อการใช้วิตามินของร่างกาย 289
วิตามินเอ 290
วิตามินดี 315
วิตามินอี 325

วิตามินเค 338
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 345

บทที่ 14 วิตามินที่ละลายในน้ำ 347
วิตามินบีหนึ่ง 347
วิตามินบีสอง 363
วิตามินบีหก 369
ไนอะซิน 372
วิตามินบีสิบสอง 376
กรดโฟลิก 379
กรดแพนโททีนิก 383
ไบโอติน 386
อิโนซิทอล 391
วิตามินซี 391
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 401

บทที่ 15 โภชนาการของบุคคลปกติในภาวะพิเศษ 403
อาหารสำหรับเด็กทารก 403
อาหารสำหรับเด็กวัยก่อนเรียน 418
อาหารสำหรับหญิงตั้งครรภ์ 420
อาหารสำหรับหญิงให้นมบุตร 428
อาหารสำหรับคนสูงอายุ 429
โปรแกรมการตายของเซลล์ 436
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 441

บทที่ 16 การประเมินภาวะโภชนาการ 443
ระบบการประเมินภาวะโภชนาการ 444
การสำรวจภาวะการบริโภคอาหาร 445
Nutritional Anthropometry 453
การประเมินภาวะโภชนาการโดยวิธีทางชีวเคมี 470
การประเมินภาวะโภชนาการโดยวิธีตรวจร่างกายทางคลินิก 476
เอกสารประกอบการเรียบเรียง 479

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ในร่างกาย 4
ตารางที่ 2.2 วิธีการที่ใช้วัดส่วนประกอบของร่างกายระดับต่าง ๆ..... 6
ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างรูปแบบความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของร่างกายที่ระดับต่าง ๆ ... 12
ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อของผู้ชายปกตินำ้หนัก 70 กิโลกรัม 13
ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของร่างกาย 4 ระดับแรก..... 17
ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างวิธีคำนวณหาส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย 18
ตารางที่ 3.1 การกระจายตัวของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย..... 23
ตารางที่ 3.2 ชนิดและปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในของเหลวภายในเซลล์และของเหลว
ภายนอกเซลล์ทั้งที่เป็นไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบ..... 24
ตารางที่ 3.3 ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับและที่ขับออกจากร่างกายในคนปกติ..... 26
ตารางที่ 3.4 ปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย..... 28
ตารางที่ 3.5 ปริมาณน้ำในอาหารบางชนิด 30
ตารางที่ 5.1 สารอาหารที่จำเป็นต่อร่างกาย..... 46
ตารางที่ 6.1 ค่าพลังงานที่ได้รับจากสารอาหาร..... 61
ตารางที่ 6.2 ค่าพลังงานของอาหารชนิดต่าง ๆ..... 63
ตารางที่ 6.3 อัตราส่วนของสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ถูกออกซิไดส์
และความร้อนที่เกิดขึ้นจากค่า R.Q. ต่าง ๆ 70
ตารางที่ 6.4 ค่า BMR ต่อตารางเมตรของพื้นที่ผิวของคนในแต่ละช่วงอายุ..... 76
ตารางที่ 6.5 ความแตกต่างของอายุและเพศที่มีผลต่อค่า BMR
(กิโลแคลอรีต่อตารางเมตรต่อชั่วโมง) 78
ตารางที่ 6.6 ค่า BMR ของคนในแต่ละช่วงอายุ..... 78
ตารางที่ 6.7 จำนวนพลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ (ไม่รวมพลังงาน BMR)..... 80
ตารางที่ 6.8 จำนวนพลังงานโดยประมาณที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ
(รวมพลังงาน BMR) 81
ตารางที่ 6.9 จำนวนพลังงานโดยประมาณที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ
(ไม่รวมพลังงาน BMR)..... 82
ตารางที่ 6.10 จำนวนพลังงานโดยประมาณที่ใช้ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ
(รวมค่า BMR และ SDA)..... 83
ตารางที่ 6.11 จำนวนพลังงานที่เด็กแต่ละช่วงอายุควรได้รับ 85

ตารางที่ 6.12 จำนวนพลังงานที่คนแต่ละช่วงอายุควรได้รับ 86
ตารางที่ 6.13 จำนวนพลังงานที่ร่างกายต้องการผันแปรตามน้ำหนักตัว 87
ตารางที่ 7.1 กระบวนการย่อยสารอาหาร คาร์โบไฮเดรต ลิพิด และโปรตีน 95
ตารางที่ 7.2 สารประกอบอนินทรีย์ที่พบในน้ำลาย 96
ตารางที่ 7.3 ส่วนประกอบของน้ำดีที่สร้างขึ้นที่ตับและน้ำดีที่อยู่ในถุงน้ำดี 108
ตารางที่ 7.4 ตำแหน่งในระบบทางเดินอาหารที่สารอาหารชนิดต่าง ๆ ถูกดูดซึม 121
ตารางที่ 8.1 ชนิดและแหล่งของคาร์โบไฮเดรตที่ร่างกายใช้ประโยชน์ได้ 136
ตารางที่ 8.2 ปริมาณคาร์โบไฮเดรตในอาหารชนิดต่าง ๆ 137
ตารางที่ 8.3 การเปรียบเทียบรสหวานของน้ำตาลบางชนิด 139
ตารางที่ 8.4 ปริมาณเส้นใยอาหารในผลไม้บางชนิด 151
ตารางที่ 9.1 ปริมาณกรดไขมันในไขมันและน้ำมันบางชนิด 155
ตารางที่ 9.2 ปริมาณไขมันและน้ำมันในอาหารบางชนิด 156
ตารางที่ 9.3 ปริมาณคอเลสเตอรอลในอาหารบางชนิด 158
ตารางที่ 9.4 สมบัติและส่วนประกอบของลิโพโปรตีนชนิดต่าง ๆ 162
ตารางที่ 9.5 ชนิดและปริมาณของลิพิดในพลาสมาของคนปกติ 163
ตารางที่ 10.1 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของกรดแอมิโนแต่ละชนิด 174
ตารางที่ 10.2 การจำแนกชนิดของกรดแอมิโนตามความต้องการของร่างกาย และตามวิถีเมแทบอลิซึม 183
ตารางที่ 10.3 ปริมาณของกรดแอมิโนจำเป็นที่ร่างกายควรได้รับ 184
ตารางที่ 10.4 ปริมาณโปรตีนในอาหารชนิดต่าง ๆ 189
ตารางที่ 10.5 ชนิดและปริมาณของกรดแอมิโนจำเป็นในไข่ทั้งฟองและที่ร่างกายต้องการ 190
ตารางที่ 10.6 ชนิดและปริมาณกรดแอมิโนที่อยู่ในโปรตีนจากพืชและสัตว์ 191
ตารางที่ 10.7 ปริมาณสารประกอบไนโตรเจนและโปรตีนที่ขับออกจาก ร่างกายทางปัสสาวะตามปกติ 197
ตารางที่ 10.8 ชนิดและปริมาณของกรดแอมิโนจำเป็น (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม น้ำหนักตัวต่อวัน) ที่ร่างกายจำเป็นต้องได้รับของคนแต่ละช่วงอายุ 199
ตารางที่ 10.9 ปริมาณโปรตีนที่ร่างกายควรได้รับในแต่ละช่วงอายุ 200
ตารางที่ 11.1 ปริมาณกรดแอมิโนจำเป็นที่มีอยู่ในโปรตีนบางชนิด (มิลลิกรัมต่อกรัม ของไนโตรเจน) เปรียบเทียบกับปริมาณที่ร่างกายต้องการและ ค่า protein score 206
ตารางที่ 11.2 กรดแอมิโนจำกัดของโปรตีนในอาหารบางชนิด 207

ตารางที่ 11.3 เปรียบเทียบชนิดและปริมาณของกรดแอมิโนจำเป็นที่เป็นองค์ประกอบในโปรตีนไข่และโปรตีนข้าวโอ๊ต 208
ตารางที่ 11.4 คุณภาพของโปรตีนในอาหารบางชนิด 209
ตารางที่ 12.1 แร่ธาตุแต่ละกลุ่มที่พบในร่างกาย 218
ตารางที่ 12.2 ปริมาณแร่ธาตุแต่ละชนิดที่พบในร่างกาย 219
ตารางที่ 12.3 ปริมาณกรดออกซาลิกในอาหาร 226
ตารางที่ 12.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซึมแคลเซียม 227
ตารางที่ 12.5 ปริมาณแคลเซียมและฟอสฟอรัสในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) 231
ตารางที่ 12.6 ปริมาณโซเดียมและโพแทสเซียมในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัมของส่วนที่บริโภคได้) 238
ตารางที่ 12.7 สารเติมแต่งอาหารที่มีโซเดียมอยู่ในโมเลกุล 239
ตารางที่ 12.8 ปริมาณแมกนีเซียมในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ 100 กรัม) 246
ตารางที่ 12.9 ปริมาณเหล็กในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย 249
ตารางที่ 12.10 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการดูดซึมเหล็กที่อยู่ในรูปฮีมและไม่ได้อยู่ในรูปฮีม 254
ตารางที่ 12.11 ปริมาณเหล็กในอาหาร (มิลลิกรัมต่อ100 กรัม) 258
ตารางที่ 12.12 ปริมาณของสังกะสีในอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของผู้ชาย 264
ตารางที่ 12.13 เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับสังกะสีและการทำหน้าที่ 266
ตารางที่ 12.14 ปริมาณสังกะสีในอาหารบางชนิด (มิลลิกรัมต่อ100 กรัม) 268
ตารางที่ 13.1 ความแตกต่างระหว่าง SRBP และ CRBP 302
ตารางที่ 13.2 คุณค่าทางชีวภาพของวิตามินเอรูปต่าง ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับ all-*trans* retinol activity ที่พบในอาหาร 309
ตารางที่ 13.3 ปริมาณวิตามินเอที่ควรได้รับต่อวัน (ไมโครกรัม RE) 309
ตารางที่ 13.4 ปริมาณเรตินอลในอาหารบางชนิด 311
ตารางที่ 13.5 การเรียกชื่อวิตามินดีและเมแทบอไลต์ 320
ตารางที่ 13.6 ปริมาณวิตามินดีในอาหารบางชนิด 321
ตารางที่ 13.7 สารประกอบที่จัดเป็นวิตามินอี 328
ตารางที่ 13.8 น้ำหนักโมเลกุลและสมบัติการดูดกลืนแสงของวิตามินอี 328
ตารางที่ 13.9 คุณค่าทางชีวภาพของวิตามินอี 333
ตารางที่ 13.10 พยาธิสภาพที่เกิดขึ้นกับคนและสัตว์ชนิดต่าง ๆ เมื่อขาดวิตามินอี 337
ตารางที่ 13.11 ปริมาณวิตามินเคที่ร่างกายต้องการ 342

ตารางที่ 13.12 ปริมาณวิตามินเคในอาหารบางชนิด 343
ตารางที่ 14.1 ปริมาณวิตามินบีหนึ่งในอาหารบางชนิด 359
ตารางที่ 14.2 การสูญเสียวิตามินบีหนึ่งระหว่างการเก็บรักษาอาหารบรรจุกระป๋อง 360
ตารางที่ 14.3 การกระจายตัวของวิตามินบีสองรูปต่าง ๆ ที่พบในน้ำนมคนและน้ำนมวัว 365
ตารางที่ 14.4 ปริมาณวิตามินบีสองในอาหารบางชนิด 368
ตารางที่ 14.5 ผลของการหุงต้มต่อความคงตัวของโฟเลตในผักบางชนิด 383
ตารางที่ 14.6 ปริมาณกรดแพนโททีนิกในอาหาร 387
ตารางที่ 14.7 ปริมาณวิตามินซีในผักและผลไม้สดชนิดต่าง ๆ 398
ตารางที่ 15.1 ปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่บุคคลแต่ละกลุ่มควรได้รับ 404
ตารางที่ 15.2 ส่วนประกอบของน้ำนมแม่และน้ำนมวัว (ต่อ 100 มิลลิลิตร) 408
ตารางที่ 15.3 Recommended Dietary Allowance สำหรับทารก 411
ตารางที่ 15.4 เปรียบเทียบปริมาณสารอาหารในอาหารเสริมแต่ละสูตรกับมาตรฐาน
สูตรอาหารเสริมสำหรับเด็กทารก (ประมาณต่อ 100 กิโลแคลอรี่) 417
ตารางที่ 15.5 เปรียบเทียบปริมาณกรดแอมิโนจำเป็นในอาหารเสริมกับความต้องการ
ของเด็กทารกอายุระหว่าง 6-12 เดือน (มิลลิกรัมต่อกรัมโปรตีน) 418
ตารางที่ 15.6 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการยืนยาวของชีวิตทั้งทางบวกและทางลบ 436
ตารางที่ 16.1 ระดับของภาวะทุพโภชนาการที่เกิดขึ้นและวิธีการที่ใช้ประเมิน 444
ตารางที่ 16.2 การวัดส่วนต่าง ๆ ของร่างกายในแต่ละช่วงอายุ 456
ตารางที่ 16.3 มาตรฐานความยาวรอบศีรษะและรอบอกของเด็กตั้งแต่อายุแรกเกิดถึง 5 ปี ... 465
ตารางที่ 16.4 มาตรฐานความหนาของผิวหนังที่ด้านหลังแขน (triceps skin-fold)
ของเด็กช่วงอายุต่าง ๆ และผู้ใหญ่ 468
ตารางที่ 16.5 Arm circumference ของเด็กอายุ 1 เดือน ถึง 5 ปี 471
ตารางที่ 16.6 Arm circumference ของเด็กวัยเจริญเติบโตและผู้ใหญ่ 472
ตารางที่ 16.7 Mid-arm-muscle circumference ของคนในช่วงอายุต่าง ๆ กัน 473
ตารางที่ 16.8 การศึกษาทางชีวเคมีที่ใช้ประเมินภาวะโภชนาการ 475
ตารางที่ 16.9 ความผิดปกติของอวัยวะและส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่ใช้ใน
การประเมินภาวะโภชนาการ 478

สารบัญรูป

รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล 7
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการเกิดความหิวและความอยากกินอาหาร 37
รูปที่ 5.1 ตัวอย่างภาพอาหาร 5 หมู่สำหรับคนไทย 48
รูปที่ 5.2 ธงโภชนาการของกองโภชนาการ กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 51
รูปที่ 5.3 ลักษณะของ Food Pyramid (5.3A) และ MyPyramid (5.3B) 56
รูปที่ 6.1 นอโมแกรมแสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนสูง น้ำหนัก และพื้นที่ผิวของร่างกาย 75
รูปที่ 6.2 ค่า BMR ของคนในแต่ละช่วงอายุ 77
รูปที่ 7.1 อวัยวะต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในระบบทางเดินอาหาร 94
รูปที่ 7.2 ลักษณะของกระเพาะอาหารและตำแหน่งของหูรูด 100
รูปที่ 7.3 ลักษณะภายในของกระเพาะอาหารและการหลั่งกรดเกลือ 101
รูปที่ 7.4 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์กรดน้ำดีจากคอเลสเตอรอล 106
รูปที่ 7.5 ลักษณะของวิลไล เอนเทอโรไซต์ และบรัชบอร์เดอร์ 111
รูปที่ 7.6 ลักษณะของวิลไลและเซลล์เยื่อบุผิวของลำไส้เล็กซึ่งเป็นเซลล์ชั้นเดียว รวมทั้งหลอดเลือดและหลอดน้ำเหลืองที่มารับสารอาหาร 119
รูปที่ 7.7 ลักษณะของไมโครวิลไล 120
รูปที่ 7.8 กลไกการดูดซึมแบบพิโนไซโทซิส 122
รูปที่ 7.9 ลักษณะของลำไส้ใหญ่ 127
รูปที่ 8.1 แผนภูมิการย่อยสลายคาร์โบไฮเดรตในระบบทางเดินอาหาร 138
รูปที่ 8.2 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำตาลกลูโคสในเลือดและการเก็บรักษาไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อ 141
รูปที่ 8.3 การควบคุมระดับน้ำตาลกลูโคสในเลือดของฮอร์โมนอินซูลินและกลูคากอน 143
รูปที่ 8.4 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสไปตามวิถีต่าง ๆ ในเมแทบอลิซึม 144
รูปที่ 8.5 วิถีไกลโคไลซิสในภาวะที่มีออกซิเจน 146
รูปที่ 8.6 วิถีวงจรเครบส์ 147
รูปที่ 8.7 Cori's cycle ที่ตับ 147
รูปที่ 8.8 การสลายตัวของไกลโคเจนที่ตับและกล้ามเนื้อด้วยวิถีที่แตกต่างกัน 148
รูปที่ 8.9 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงน้ำตาลกาแล็กโทสเป็นน้ำตาลกลูโคสในเมแทบอลิซึม 150

รูปที่ 9.1 แผนภูมิสรุปการย่อย การดูดซึม และการขนย้ายไขมัน 161
รูปที่ 9.2 วิถีบีตา-ออกซิเดชัน 165
รูปที่ 9.3 ขั้นตอนการสังเคราะห์คีโทนบอดีส์จากแอซีทิลโคเอ 169
รูปที่ 10.1 วงจรออร์นิทีน (ornithine cycle หรือ urea cycle) 186
รูปที่ 10.2 แผนภูมิการย่อย การดูดซึม และเมแทบอลิซึมของกรดแอมิโนในร่างกาย 188
รูปที่ 10.3 แผนภูมิเมแทบอลิซึมของกรดแอมิโนในร่างกาย 194
รูปที่ 10.4 แผนภูมิเมแทบอลิซึมของกรดแอมิโนแต่ละชนิดผ่านวงจรเครบส์ 195
รูปที่ 12.1 สูตรโครงสร้างของกรดไฟทิกหรือไฟเทต (ฟอสเฟตเอสเทอร์ของอินอซิทอล) 224
รูปที่ 12.2 แผนภูมิการใช้ประโยชน์ของแคลเซียมในร่างกาย 229
รูปที่ 12.3 บทบาทของแมกนีเซียมในการทำหน้าที่เพิ่มความคงตัวของ ATP 244
รูปที่ 12.4 โครงสร้างโมเลกุลของเหล็กที่อยู่ในรูปฮีม (heme iron) 250
รูปที่ 12.5 แผนภูมิการย่อย การดูดซึม และการเก็บสะสมเหล็ก 253
รูปที่ 12.6 เมแทบอลิซึมของเหล็กในร่างกาย 257
รูปที่ 12.7 สูตรโครงสร้างของ มอโนไอโอโดไทโรซีน (MIT) ไดไอโอโดไทโรซีน (DIT) ไตรไอโอโดไทโรนีน (T3) และเททระไอโอโดไทไรนีนหรือไทรอกซิน (T4) 260
รูปที่ 12.8 การจำแนกระดับของโรคคอพอกออกเป็น 3 กลุ่ม เปรียบเทียบกับระดับปกติ 262
รูปที่ 12.9 โรคคอพอกขั้นรุนแรงในแทนซาเนีย 262
รูปที่ 12.10 การจับกันของสังกะสีกับออกซาเลตและไฟเทตได้เป็นเกลือที่ไม่ละลายในน้ำ 265
รูปที่ 12.11 บทบาทของโครเมียมในการทำหน้าที่ร่วมกับ GTF และอินซูลิน 274
รูปที่ 12.12 ลักษณะของฟลูออโรซิสที่ผิวนอกของฟันขรุขระ 277
รูปที่ 12.13 สูตรโครงสร้างของโมลิบโดเทอริน (molybdopterin) และเทอริน (pterin) 279
รูปที่ 13.1 สูตรโครงสร้างของวิตามินเอ 293
รูปที่ 13.2 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของแคโรทีนอยด์บางชนิด 295
รูปที่ 13.3 บีตา-แคโรทีนถูกออกซิไดส์เป็น 2 โมเลกุลของวิตามินเอแอลดีไฮด์หรือแอลกอฮอล์ 296
รูปที่ 13.4 ปฏิกิริยาการสลายบีตา-แคโรทีนเป็นวิตามินเอรูปต่าง ๆ 297
รูปที่ 13.5 แผนภูมิการเปลี่ยนแปลงวิตามินเอใน visual cycle 306
รูปที่ 13.6 ลักษณะความผิดปกติของตาที่เกิดขึ้นเนื่องจากขาดวิตามินเอ 314
รูปที่ 13.7 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์วิตามินดีสามและ 1,25-ไดไฮดรอกซี-โคเลแคลซิเฟอรอล 316
รูปที่ 13.8 แผนภูมิกลไกการทำงานของวิตามินดีที่อวัยวะต่าง ๆ ที่สัมพันธ์กับการเกิดโรคในร่างกาย 319
รูปที่ 13.9 สูตรโครงสร้างของโทโคฟีรอลและโทโคไตรอีนอลแต่ละชนิด 327

รูปที่ 13.10 กลไกการเป็นสารต้านออกซิเดชันของวิตามินอีและการจับกับอนุมูลอิสระ 332
รูปที่ 13.11 หน้าที่กลไกการทำงานและรูปที่ขับออกทางปัสสาวะของวิตามินอี
ในเมแทบอลิซึม 333
รูปที่ 13.12 สูตรโครงสร้างของวิตามินเคหนึ่ง เคสอง และเคสาม 340
รูปที่ 13.13 สูตรโครงสร้างของอนุพันธ์วิตามินเค 340
รูปที่ 13.14 สูตรโครงสร้างของสารที่ใช้เป็นยาป้องกันการแข็งตัวของเลือด 344
รูปที่ 14.1 สูตรโครงสร้างของไทแอมินและไทแอมินไพโรฟอสเฟต 348
รูปที่ 14.2 ปฏิกิริยาเชิงซ้อนของกรดไพรูวิกที่เร่งด้วยเอนไซม์ไพรูเวตดีไฮโดรจีเนส
และโคเอนไซม์ชนิดต่าง ๆ ได้เป็นแอซีทิลโคเอ 352
รูปที่ 14.3 สูตรโครงสร้างของไรโบฟลาวินหรือวิตามินบีสอง 364
รูปที่ 14.4 สูตรโครงสร้างของฟลาวินมอโนนิวคลีโอไทด์และ
ฟลาวินแอดีนีนไดนิวคลีโอไทด์ 366
รูปที่ 14.5 สูตรโครงสร้างของวิตามินบีหกรูปต่าง ๆ 370
รูปที่ 14.6 ปฏิกิริยาการเปลี่ยนรูปของวิตามินบีหก 370
รูปที่ 14.7 สูตรโครงสร้างของไนอะซินและรูปที่ทำงานทั้ง NAD^+ และ $NADP^+$ 373
รูปที่ 14.8 ลักษณะอาการของโรคเพลลากรา 376
รูปที่ 14.9 สูตรโครงสร้างของวิตามินบีสิบสอง 377
รูปที่ 14.10 สูตรโครงสร้างของกรดโฟลิก 380
รูปที่ 14.11 หน้าที่ของกรดโฟลิกในการรับ-ส่งหรือขนย้ายหมู่คาร์บอนอะตอมเดียว
ในเมแทบอลิซึม 381
รูปที่ 14.12 สูตรโครงสร้างโมเลกุลของไบโอติน 388
รูปที่ 14.13 ลักษณะเหงือกบวมแดงเนื่องจากขาดวิตามินซี 397
รูปที่ 15.1 ตำแหน่งของ trabecular bone และ cortical bone 431
รูปที่ 16.1 มาตรฐานน้ำหนักของกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข 460
รูปที่ 16.2 การวัดส่วนสูงของทารกและเด็กอายุไม่เกิน 2 ปี 463
รูปที่ 16.3 การวัดส่วนสูงของเด็กที่มีอายุมากกว่า 2 ปี 463
รูปที่ 16.4 วิธีการวัดรอบศีรษะและรอบอก 464
รูปที่ 16.5 Skinfold caliper ชนิดต่าง ๆ 467
รูปที่ 16.6 จุดตำแหน่งกึ่งกลางของลำแขนจากช่วงไหล่ถึงข้อศอกและ
วิธีการวัดความหนาของผิวหนัง 468
รูปที่ 16.7 การวัดความยาวรอบแขน ลักษณะกล้ามเนื้อแขน และการวัดขนาด
เส้นผ่านศูนย์กลางของแขนและกล้ามเนื้อแขน 469
รูปที่ 16.8 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการเกิดภาวะทุพโภชนาการ 474

บทที่ 1

บทนำ

โภชนศาสตร์ (nutrition) เป็นวิทยาศาสตร์ประยุกต์ ที่กล่าวถึงความสัมพันธ์ระหว่างอาหารกับสุขภาพของคน หลักการบริโภคอาหารว่าคนเราต้องบริโภคอาหารประเภทใด มีปริมาณเท่าใด อาหารชนิดใดบ้างที่มีประโยชน์ต่อร่างกาย รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงของสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกาย เมื่อกินอาหารเข้าไปแล้วจะถูกย่อย ดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย และนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ เช่น ให้พลังงานแก่ร่างกาย ทำให้ร่างกายอบอุ่น และเสริมสร้างส่วนต่าง ๆ ของอวัยวะภายในร่างกาย การที่คนเราต้องการอาหารชนิดใด ปริมาณเท่าใด จำเป็นต้องทราบถึงชนิดและปริมาณของสารอาหารที่มีอยู่ในอาหาร เพื่อจะได้เลือกกินได้ถูกต้องตามความต้องการของร่างกาย เช่น เด็กทารก เด็กวัยเจริญเติบโต หญิงมีครรภ์ หญิงให้นมบุตร และคนสูงอายุ มีความต้องการอาหารพิเศษแตกต่างไปจากคนปกติ และความต้องการอาหารพิเศษของคนแต่ละกลุ่มดังกล่าวนี้ยังแตกต่างกันออกไปด้วย และความต้องการสารอาหารของร่างกายยังขึ้นอยู่กับอายุ เพศ สภาพแวดล้อม น้ำหนักของร่างกาย และการทำงานของแต่ละบุคคลด้วย

การได้รับอาหารที่ถูกสัดส่วนตามความต้องการของร่างกาย แสดงว่ามีภาวะโภชนาการดี ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดโรคภัยไข้เจ็บได้ การได้รับอาหารไม่ถูกสัดส่วนจะทำให้ร่างกายได้รับสารอาหารบางชนิดมากเกินไป หรือได้รับสารอาหารบางชนิดน้อยเกินไปหรือขาดไป ซึ่งจะมีผลกระทบทำให้เกิดโรคขาดสารอาหารได้ เช่น โรคเหน็บชาเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดวิตามินบีหนึ่ง และโรคคอพอกเกิดขึ้นเนื่องจากการขาดธาตุไอโอดีน เป็นต้น นอกจากจะเป็นโรคที่เกิดจากการขาดสารอาหารโดยตรงแล้ว ยังอาจมีโรคแทรกได้ เช่น โรคติดเชื้อต่าง ๆ เพราะคนที่ขาดอาหารส่วนมากมักจะมีภูมิต้านทานโรคต่ำ ร่างกายอ่อนแอ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องแนะนำให้คนกินอาหารที่มีสารอาหารครบถ้วน ถูกสัดส่วนตามความต้องการของร่างกาย จะทำให้ร่างกายสมบูรณ์ แข็งแรง มีสุขภาพและพลานามัยดี

อาหารบางชนิดมีสารพิษปนอยู่ด้วย สารพิษเหล่านี้เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น สารยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ทริพซิน (trypsin inhibitor) ในถั่วเหลืองดิบ สารทำลายวิตามินบีหนึ่งในปลาดิบและผักตระกูลเฟิร์น และสารไซยาไนด์ในมันสำปะหลังดิบ เป็นต้น บางครั้งสารพิษหรือสารที่ทำให้เกิดโทษแก่ร่างกาย มนุษย์เป็นผู้เติมสารนั้นลงในอาหารเอง เช่น การเติมสารสีลงในอาหาร หรือการเติมสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในการถนอมรักษาอาหาร เป็นต้น อาหารบางชนิดเมื่อเก็บรักษาไว้ในสภาพที่ไม่เหมาะสม ทำให้จุลินทรีย์เจริญได้ เช่น การเจริญของราแอสเพอจิลลัสฟลาวัส *(Aspergillus flavus)* ในถั่วลิสงและพริกแห้ง ราชนิดนี้สร้างสารพิษ เรียกว่า อะฟลาทอกซิน (aflatoxin) ซึ่งเมื่อกินเข้าไปจะทำให้เกิดเป็นมะเร็งตับได้ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทราบถึงชนิดและโทษของสารพิษต่าง ๆ ที่มีอยู่ในอาหารด้วย

นอกจากนั้น โภชนศาสตร์ยังได้กล่าวถึง วิธีการปรับปรุงคุณภาพของอาหารให้มีคุณค่าทางโภชนาการที่สูงขึ้น สาเหตุต่าง ๆ ที่จะทำให้เกิดการสูญเสียสารอาหาร และวิธีการป้องกันไม่ให้เกิดการสูญเสียสารอาหาร รวมทั้งวิธีการสำรวจภาวะโภชนาการของบุคคล ครอบครัว และหมู่บ้าน และวิธีการเผยแพร่ความรู้โภชนศาสตร์ให้แก่ผู้อื่นด้วย

การศึกษาวิชาโภชนศาสตร์ จึงเป็นการเรียนรู้และเข้าใจเรื่องการบริโภคอาหาร ว่าควรจะเลือกอาหารชนิดใด บริโภคอย่างไรจึงจะเกิดประโยชน์ต่อร่างกายมากที่สุด และรู้จักเลือกบริโภคอาหารที่มีคุณค่าตามราคา และเหมาะสมกับสภาวะของร่างกาย อายุ และเพศ นอกจากนี้ยังรู้จักหลีกเลี่ยงการบริโภคอาหารที่มีสารพิษ หรือมีสารปนเปื้อนที่ไม่เป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกาย ดังนั้น หลักในการเลือกอาหารบริโภคแต่ละครั้ง ควรประกอบด้วย **3 ป. คือ ประโยชน์ ประหยัด และปลอดภัย**

บทที่ 2

ส่วนประกอบของร่างกาย

เนื่องจากความก้าวหน้าทางด้านวิธีการและอุปกรณ์การวิเคราะห์ทางเคมีในช่วงศตวรรษที่ 20 ทำให้สามารถศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของร่างกายได้ละเอียดมากขึ้น ส่วนประกอบของร่างกายสามารถจำแนกออกเป็นระดับต่าง ๆ ได้ 5 ระดับ คือ

1. ระดับอะตอม (atom level)
2. ระดับโมเลกุล (molecular level)
3. ระดับเซลล์ (cellular level)
4. ระดับเนื้อเยื่อ (tissue system level)
5. ระดับร่างกาย (whole body level)

ส่วนประกอบของร่างกายระดับอะตอม

ร่างกายของคนเราแต่ละคนมีส่วนประกอบทางเคมีแตกต่างกัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับความอ้วน ความผอม และสุขภาพของร่างกาย เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของร่างกายระดับอะตอมหรือชนิดของแร่ธาตุต่าง ๆ พบว่าในร่างกายมีแร่ธาตุชนิดต่าง ๆ ที่เป็นโครงสร้างพื้นฐานประมาณ 50 ธาตุ จากจำนวนแร่ธาตุทั้งหมดที่พบในธรรมชาติ 106 ธาตุ แร่ธาตุต่าง ๆ เหล่านี้ส่วนใหญ่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตและรักษาสุขภาพให้เป็นปกติ ในจำนวน 50 ธาตุนี้ ยังมีแร่ธาตุบางชนิดที่ไม่จำเป็นต่อร่างกายและบางชนิดเป็นพิษต่อร่างกายรวมอยู่ด้วย เช่น ปรอท (Hg) อะลูมิเนียม (Al) แคดเมียม (Cd) และตะกั่ว (Pb) เป็นต้น

แร่ธาตุหลักที่เป็นองค์ประกอบสำคัญของสารประกอบอินทรีย์ต่าง ๆ ในร่างกายมี 4 ชนิด ประกอบด้วยแร่ธาตุออกซิเจน (O) ประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์ คาร์บอน (C) ประมาณ 18 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน (H) ประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ และไนโตรเจน (N) ประมาณ 3 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งหมดประมาณ 96 เปอร์เซ็นต์ของมวลทั้งร่างกาย และมีแร่ธาตุรองอีกประมาณ 7 ชนิด คือ แคลเซียม (Ca) ฟอสฟอรัส (P) โซเดียม (Na) โพแทสเซียม (K) คลอรีน (Cl) แมกนีเซียม (Mg) และกำมะถัน (S) ซึ่งรวมกันทั้งหมด ประมาณ 99.5 เปอร์เซ็นต์ของมวลทั้งร่างกาย (ตารางที่ 2.1)

ส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล

ส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล ประกอบด้วยน้ำ 60-70 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 10-15 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10-35 เปอร์เซ็นต์ และแร่ธาตุต่าง ๆ 3-5 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างเช่น ในโมเลกุลของโปรตีนมีไนโตรเจนเป็นองค์ประกอบอยู่ 16 เปอร์เซ็นต์ หรือไขมันมีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบอยู่ 77 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักส่วนเกินของร่างกายประมาณ 2 ใน 3 ส่วน จะเป็นไขมัน เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงของเนื้อเยื่อไขมันที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง จะมีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงส่วนประกอบของร่างกายทั้งที่ระดับเซลล์ โมเลกุล และอะตอมด้วย ดังนั้น หากภาวะที่ร่างกายมีส่วนประกอบคงที่ (body composition steady state) แสดงว่าร่างกายสามารถรักษาระดับของน้ำหนักตัวให้คงที่ได้ และมีการรักษาภาวะธำรงดุลของของเหลว (fluid homeostasis) ด้วย

ตารางที่ 2.1 แร่ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสารประกอบอินทรีย์ในร่างกาย

แร่ธาตุ	เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว
ออกซิเจน	61.0-65.0
คาร์บอน	18.0-23.0
ไฮโดรเจน	10.0
ไนโตรเจน	2.6-3.0
แคลเซียม	1.4-2.2
ฟอสฟอรัส	0.8-1.2
โพแทสเซียม	0.35
กำมะถัน	0.25
โซเดียม	0.15
คลอรีน	0.15
แมกนีเซียม	0.05
เหล็ก	0.004
แมงกานีส	0.0003
ทองแดง	0.00015
ไอโอดีน	0.00004
โคบอลต์	น้อยมาก
สังกะสี	น้อยมาก
ฟลูออรีน ซิลีเนียม	?
โมลิบดินัม โครเมียม	?

ที่มา : Walker (1990) และ Deurenberg (2009)

คนแต่ละคนจะมีส่วนประกอบของร่างกายผันแปรแตกต่างกัน ส่วนประกอบที่มีความผันแปรมากที่สุด คือ ไขมัน ซึ่งส่งผลทำให้ส่วนประกอบอื่นๆ ของร่างกายเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย หากพิจารณาเฉพาะส่วนประกอบของร่างกายที่ปราศจากไขมันจะแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

ปัจจุบันวิธีที่นิยมใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบของร่างกาย คือ *in vivo* neutron activation analysis ซึ่งทำให้ทราบส่วนประกอบทางเคมีของร่างกายโดยละเอียด จึงทำให้ทราบว่ามีโรคหลายชนิดที่เกิดขึ้น และส่งผลกระทบต่อส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย เช่น โรคอ้วน (obesity) ซึ่งมีไขมันสะสมอยู่ในร่างกายสูงมาก ส่งผลกระทบต่อเมแทบอลิซึมของลิพิดและคาร์โบไฮเดรต ทำให้ความดันโลหิตสูง และเป็นเบาหวาน (adult onset diabetes)

อย่างไรก็ตาม สามารถหาความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของร่างกายระหว่างระดับโมเลกุลกับระดับเนื้อเยื่อบางชนิดได้ เช่น มวลไขมัน (fat mass) และมวลเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue mass) มีความสัมพันธ์กันเป็นค่าคงที่ คือ

$$\text{มวลไขมัน} = \sim 0.80 \times \text{มวลเนื้อเยื่อไขมัน}$$

ดังนั้นจึงสามารถนำสมการนี้ไปใช้คำนวณหาส่วนประกอบของร่างกายได้ ซึ่งปัจจุบันมีวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้วิเคราะห์ส่วนประกอบของร่างกายระดับต่างๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.2

การศึกษาส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล ทำให้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องพลังงาน โปรตีน ลิพิด ภาวะธำรงดุลของแร่ธาตุในกระดูก (bone mineral homeostasis) และภาวะธำรงดุลของน้ำ จึงแบ่งส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุลออกเป็น 5 กลุ่ม คือ น้ำ ลิพิด โปรตีน คาร์โบไฮเดรต (ไกลโคเจน) และแร่ธาตุต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.1

จากรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าลิพิดซึ่งเป็นสารประกอบที่ละลายได้ในตัวทำละลายอินทรีย์ยังแยกออกเป็นไขมันที่ไม่จำเป็นและที่จำเป็นต่อร่างกาย น้ำทั้งหมดในร่างกายแยกได้เป็นน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์และน้ำที่อยู่ภายในเซลล์ ส่วนแร่ธาตุและโปรตีนพบอยู่ในกระดูกและเนื้อเยื่อ

สำหรับลิพิดที่อยู่ในร่างกายคน ส่วนใหญ่เป็นไตรเอซิลกลีเซอรอล หรือไตรกลีเซอไรด์ ซึ่งไม่จำเป็นต่อร่างกาย แต่มีปริมาณมาก ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมพลังงาน และมีลิพิดส่วนน้อยซึ่งเป็นลิพิดที่จำเป็นต่อร่างกาย คือฟอสโฟลิพิดมีหน้าที่สำคัญเป็นองค์ประกอบของโครงสร้างเซลล์เมมเบรน สฟิงโกลิพิดมีหน้าที่อยู่ในระบบประสาท และสเตอรอยด์เป็นลิพิดที่จำเป็นต่อการสร้างฮอร์โมนบางชนิด ลิพิดชนิดต่างๆ ยังมีความสำคัญในกระบวนการทางชีวเคมี และกระบวนการทางสรีรวิทยาต่างๆ ของร่างกาย

ตารางที่ 2.2 วิธีการที่ใช้วัดส่วนประกอบของร่างกายระดับต่าง ๆ

ระดับของร่างกาย	วิธีการหลักที่ใช้	วิธีการอื่น ๆ
อะตอม	Neutron activation analysis	Whole-body ^{40}K counting, Tracer dilution
โมเลกุล	Bioimpedance analysis Dual energy X-ray-absorptiometry Multicompartment model	ชั่งน้ำหนักใต้น้ำ Infrared interactance Tracer and gas dilution
เซลล์	-	Tracer dilution
เนื้อเยื่อ	Computerized axial tomography Magnetic resonance imaging	Ultrasound 24-hour urinary creatinine and 3-methyl histidine excretion
ร่างกาย	-	Anthropometry

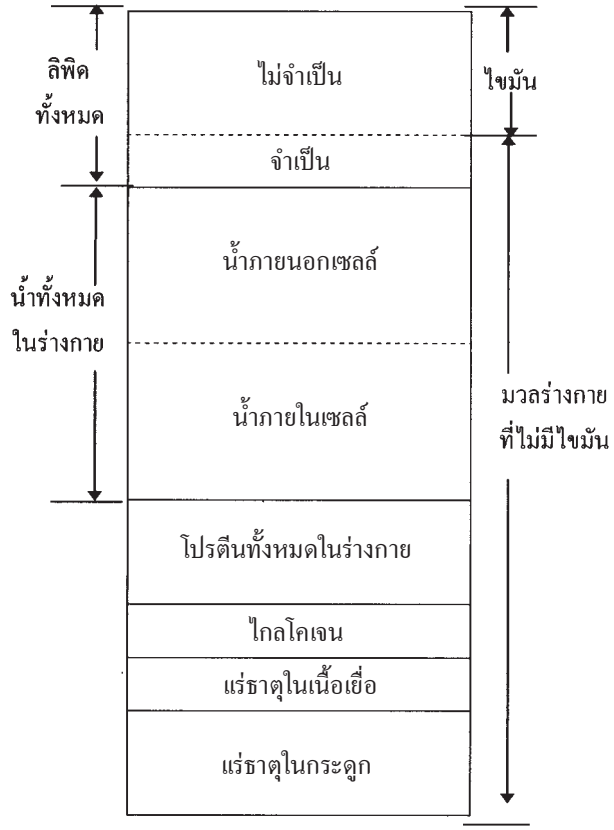
ที่มา : Heymsfield *et al.* (1997)

คนที่มีน้ำหนักปกติและมีสุขภาพดีจะมีไขมันสะสมอยู่ในร่างกายประมาณ 10-25 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผู้ชาย และ 15-35 เปอร์เซ็นต์ สำหรับผู้หญิง ส่วนคนที่อ้วนมากจะมีไขมันสะสมอยู่สูงถึง 60-70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว

น้ำในร่างกายมีอิเล็กโทรไลต์ละลายอยู่ และจะเกิดพันธะไอออนิกที่ระดับต่าง ๆ กันกับโปรตีน ไกลโคเจน และสารเคมีที่มีขั้วอื่น ๆ น้ำจะกระจายตัวอยู่ทั้งภายในและภายนอกเซลล์ น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ยังแบ่งย่อยออกได้เป็น 5 ส่วน ได้แก่ น้ำที่แทรกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ (interstitial fluid) น้ำในพลาสมา เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน กระดูก และระบบทางเดินอาหาร

โปรตีนมีอยู่ในร่างกายประมาณ 10-15 เปอร์เซ็นต์ ผู้ชายมีโปรตีนมากกว่าผู้หญิง เนื่องจากมีกล้ามเนื้อมากกว่าผู้หญิง โปรตีนไม่สะสมในร่างกาย หากได้รับไม่เพียงพอจะทำให้การทำหน้าที่ของโปรตีนลดลง (loss of functionality) ดังนั้นร่างกายควรได้รับโปรตีนให้เพียงพอและมีการหมุนเวียนสูง เพื่อทำให้อวัยวะสำคัญต่าง ๆ ทำงานได้อย่างปกติ ชนิดของโปรตีนในร่างกายมีมากมายหลายชนิดแตกต่างกัน แต่วิธีการที่ใช้วิเคราะห์หาปริมาณโปรตีนทั้งหมดจะวิเคราะห์ได้เฉพาะโปรตีนที่อยู่ในกล้ามเนื้อ และโปรตีนที่ไม่ได้อยู่ในกล้ามเนื้อเท่านั้น

สำหรับคนปกติที่มีสุขภาพดีและมีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม ในร่างกายจะประกอบด้วยน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ 26 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ 34 เปอร์เซ็นต์ ลิพิดที่จำเป็นต่อร่างกาย 2.1 เปอร์เซ็นต์ ลิพิดที่ไม่จำเป็นต่อร่างกาย 17 เปอร์เซ็นต์ โปรตีน 14.4 เปอร์เซ็นต์ แร่ธาตุ 5.3 เปอร์เซ็นต์ และคาร์โบไฮเดรต 0.6 เปอร์เซ็นต์ รวมทั้งหมดประมาณ 99.4 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะพบคาร์โบไฮเดรตในรูปน้ำตาลกลูโคสในเลือด และมีไกลโคเจนซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาลกลูโคส ทำหน้าที่เป็นแหล่งสะสมพลังงานระยะสั้นๆ สะสมอยู่ในกล้ามเนื้อและตับ ประมาณ 500 กรัม และจะพบไกลโคเจนอยู่เฉพาะภายในเซลล์ที่ตับ ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด และที่กล้ามเนื้อประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักสด



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล
ที่มา : Heymsfield *et al.* (1997)

ในการศึกษาส่วนประกอบของร่างกายระดับโมเลกุล มีวิธีการจำแนกส่วนประกอบของร่างกายออกได้หลายแบบ เช่น

1. จำแนกเป็นแบบ 2 ส่วน (two-compartment model) จะได้น้ำหนักของร่างกายเท่ากับ ไขมัน + มวลของร่างกายที่ไม่มีไขมันหรือลิพิด

2. จำแนกเป็นแบบ 3 ส่วน (three-compartment model) จะได้น้ำหนักของร่างกายเท่ากับ ไขมัน + น้ำ + ส่วนที่เหลือ ซึ่งเป็นผลรวมของไกลโคเจน แร่ธาตุ และโปรตีนรวมกัน

3. จำแนกเป็นแบบ 4 ส่วน (four-compartment model) จะได้น้ำหนักของร่างกายเท่ากับ ไขมัน + น้ำ + แร่ธาตุ + ส่วนที่เหลือคือ ผลรวมของไกลโคเจนและโปรตีน (รูปที่ 2.1)

ส่วนแร่ธาตุต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งมีประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวของคนปกติที่มีสุขภาพดี จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนที่เป็นองค์ประกอบในโครงกระดูก และส่วนที่อยู่ในเนื้อเยื่อหรือของเหลวต่าง ๆ แคลเซียมเป็นแร่ธาตุที่พบมากที่สุดในโครงกระดูก อยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกซีแอพาไทต์ (calcium hydroxyapatite) มีสูตรเป็น $[Ca_3(PO_4)_2]_3Ca(OH)_2$ และเป็นไอออนต่าง ๆ อยู่ในเนื้อเยื่อ และยังมีไอออนต่าง ๆ ที่อยู่ในของเหลวภายในเซลล์ และภายนอกเซลล์ เช่น โซเดียมไอออน (Na^+) โพแทสเซียมไอออน (K^+) แมกนีเซียมไอออน (Mg^{+2}) คลอไรด์ไอออน (Cl^-) ฟอสเฟตไอออน (HPO_4^{-2}) และไบคาร์บอเนตไอออน (HCO_3^-)

ผลการวิเคราะห์ร่างกายของชายปกติคนหนึ่ง ซึ่งมีน้ำหนัก 65 กิโลกรัม พบว่าประกอบด้วยสารประกอบอินทรีย์ที่สำคัญ ได้แก่

1. โปรตีน 11 กิโลกรัม หรือประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย ร่างกายจะยอมให้สูญเสียโปรตีนได้ไม่เกิน 2 กิโลกรัม หากสูญเสียมากกว่านี้ ร่างกายจะเกิดภาวะผิดปกติ

2. ลิพิด 9 กิโลกรัม หรือประมาณ 13.8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เป็นส่วนของอาหารที่เกินความต้องการ ร่ายกายจึงสะสมไว้ในรูปของไขมันที่บริเวณหน้าท้อง เมื่อร่างกายขาดอาหารและมีปริมาณน้ำตาลในเลือดลดลง ร่างกายจะใช้ไขมันเปลี่ยนให้เป็นพลังงาน โดยร่างกายสามารถนำไขมันนี้มาใช้ได้ถึง 8 กิโลกรัม ส่วนลิพิดอีก 1 กิโลกรัม เป็นองค์ประกอบที่จำเป็นของเซลล์ในร่างกาย สำหรับคนอ้วนจะมีไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ได้มากถึง 70 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ส่วนคนผอมจะมีไขมันที่ร่างกายสะสมไว้น้อยหรืออาจไม่มีเลยก็ได้

3. แร่ธาตุต่าง ๆ 4 กิโลกรัม หรือประมาณ 6.1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ส่วนใหญ่เป็นส่วนประกอบของโครงร่างของร่างกาย ได้แก่ โครงกระดูก กะโหลกศีรษะ และฟัน ร่างกายจะยอมสูญเสียแร่ธาตุต่าง ๆ ได้เพียง 1 กิโลกรัม เท่านั้น

4. คาร์โบไฮเดรต 1 กิโลกรัม หรือประมาณ 1.5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ร่างกายจะยอมสูญเสียได้อย่างมากเพียง 200 กรัม เท่านั้น ถ้าสูญเสียมากกว่านี้จะเกิดภาวะผิดปกติ แต่ร่างกายสามารถปรับตัวให้มีพลังงานเพียงพอได้ โดยเปลี่ยนไขมันและโปรตีนให้เป็นคาร์โบไฮเดรต

5. น้ำ มีอยู่มากถึง 40 กิโลกรัม หรือประมาณ 61.6 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เป็นส่วนประกอบภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ น้ำภายนอกเซลล์จะเป็นของเหลวต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น พลาสมา รวมทั้งน้ำที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ และน้ำหล่อลื่น เป็นต้น ร่างกายยอมสูญเสียน้ำได้เพียง 4 กิโลกรัม หรือ 10 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเซลล์

ในร่างกายคนเราประกอบด้วยเซลล์มากกว่า 10^{18} เซลล์ และส่วนประกอบของร่างกายระดับเซลล์ แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ มวลเซลล์ (cell mass) และมีของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluid) ห่อหุ้มอยู่ และเชื่อมต่อกันด้วยของแข็งภายนอกเซลล์ (extracellular solid) สำหรับของแข็งภายนอกเซลล์ไม่ค่อยมีความสำคัญทางคลินิก ภายในเซลล์มีของเหลว (intracellular fluid) ส่วนมวลเซลล์เป็นส่วนประกอบของร่างกายที่มีความสำคัญ เนื่องจากมีกิจกรรมของเมแทบอลิซึมเกิดขึ้นภายในไซโทพลาซึม (metabolically active cytoplasm) รวมทั้งเซลล์ออร์แกเนลล์ต่าง ๆ ที่อยู่ภายในไซโทพลาซึม (cytoplasmic organelle) เช่น มีไมโทคอนเดรียอยู่ภายในเซลล์ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดกระบวนการเมแทบอลิซึม ส่วนเซลล์ของเนื้อเยื่อไขมันหรือแอดิโพไซต์ (adipocyte) และเซลล์อื่น ๆ ที่มีอีกเล็กน้อย เป็นที่เก็บสะสมไตรเอซิลกลีเซอรอล ซึ่งเป็นส่วนที่อยู่ภายในเซลล์เช่นเดียวกัน

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเซลล์วัดได้ยาก เนื่องจากมีความซับซ้อน การวัดปริมาณน้ำใช้วิธีเทคนิคการเจือจาง (dilution technique) เช่น การเจือจางด้วยโบรไมด์ (bromide dilution) สามารถใช้วัดปริมาณน้ำภายนอกเซลล์ และใช้เรดิโอไอโซโทปของโพแทสเซียม (^{40}K) ในการวัดมวลเซลล์ของร่างกาย

สำหรับของแข็งภายนอกเซลล์ส่วนใหญ่ คือแร่ธาตุต่าง ๆ ที่อยู่ในกระดูกและที่ละลายอยู่ในของเหลวภายนอกเซลล์ มีโปรตีนคอลลาเจน เส้นใยทั้งชนิดที่คล้ายร่างแหหรือตาข่าย (reticular) และชนิดยืดหยุ่น (elastic) ส่วนของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์มีปริมาณค่อนข้างมาก ประกอบด้วยน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ประมาณ 95 เปอร์เซ็นต์ เช่น น้ำในพลาสมา ซึ่งอยู่ในหลอดเลือด ของเหลวที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์และภายนอกเซลล์ และในน้ำจะมีอิเล็กโทรไลต์และโปรตีนละลายอยู่ด้วย สูตรที่ใช้คำนวณน้ำหนักของร่างกาย คือ

น้ำหนักของร่างกาย = ไขมัน + ของเหลวภายนอกเซลล์ + ของแข็งภายนอกเซลล์ + มวลเซลล์ของร่างกาย

สูตรอื่นๆ ที่ใช้คำนวณส่วนประกอบของร่างกาย ได้แก่

โพแทสเซียมต่อของเหลวภายในเซลล์ = 159 มิลลิโมลของโพแทสเซียมต่อกิโลกรัมน้ำ
= 6.22 กรัมของโพแทสเซียมต่อกิโลกรัมน้ำ

โพแทสเซียมต่อมวลเซลล์ของร่างกาย = 4.69 กรัมต่อกิโลกรัม

แคลเซียมต่อของแข็งภายนอกเซลล์ = 0.177 กิโลกรัมต่อกิโลกรัม

น้ำภายนอกเซลล์ต่อของเหลวภายนอกเซลล์ = 0.92

แร่ธาตุบางชนิดเป็นองค์ประกอบที่มีความคงตัว และมีความสัมพันธ์ต่อความคงตัวของแร่ธาตุชนิดอื่นๆ รวมทั้งส่วนประกอบของร่างกายระดับอื่นๆ ด้วย ตัวอย่างเช่น ความสัมพันธ์ของอัตราส่วนโดยน้ำหนักของแร่ธาตุ (กิโลกรัมต่อกิโลกรัม) เช่น

อัตราส่วนของกำมะถันต่อไนโตรเจน = 0.062

อัตราส่วนของไนโตรเจนต่อโปรตีน = 0.16

อัตราส่วนของคาร์บอนต่อไตรเอซิลกลีเซอรอล = 0.77

อัตราส่วนของโพแทสเซียมต่อน้ำภายในเซลล์ = 150 มิลลิโมลต่อลิตร

อัตราส่วนของไฮโดรเจนต่อน้ำหนักของร่างกาย = 0.10 เป็นต้น

ความสัมพันธ์หรือกฎเหล่านี้ ทำให้สามารถนำไปใช้เป็นรูปแบบเพื่อหาส่วนประกอบของร่างกายชนิดอื่นๆ ที่ยังไม่ทราบได้ เช่น

$$\text{การวิเคราะห์หาปริมาณโปรตีน} = \frac{\text{ไนโตรเจน}}{0.16}$$

$$\text{หรือ} = \text{ไนโตรเจน} \times 6.25$$

สำหรับการหาสัดส่วนที่คงตัวของแร่ธาตุในกระดูกและมวลกระดูกนั้น พบว่า แร่ธาตุในกระดูกอยู่ในรูปของแคลเซียมไฮดรอกซีแอพาไทต์ ซึ่งปริมาณแคลเซียมจะเป็นสัดส่วนของแร่ธาตุที่มีความคงตัวอยู่ในกระดูก แคลเซียมที่มีอยู่ในเนื้อเยื่อ (soft tissue) มีอยู่น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ของแคลเซียมทั้งหมดในร่างกาย ดังนั้นการวัดปริมาณแคลเซียมจึงให้ข้อมูลที่แม่นยำเพื่อบ่งชี้ปริมาณแร่ธาตุในมวลกระดูกของร่างกาย

สำหรับแร่ธาตุที่ไม่ได้อยู่ในรูปของสารประกอบเคมี แต่อยู่ในรูปของไอออน เช่น ความเข้มข้นของโพแทสเซียมไอออนที่อยู่ในของเหลวภายในเซลล์ของร่างกายคนที่มีสุขภาพดีจะมีความคงตัว แต่จะแสดงค่าผันแปรในคนที่เป็นโรคบางชนิด ดังนั้นจึงใช้ปริมาณ

โพแทสเซียมทั้งหมดในร่างกายเป็นตัวบ่งชี้ปริมาตรของน้ำภายในเซลล์ และมวลเซลล์ของร่างกายในคนปกติที่มีสุขภาพดีได้ หรือในผู้ป่วยที่มีปริมาณของเหลวในร่างกายคงตัวและมีภาวะธำรงดุลของอิเล็กโทรไลต์

ความเข้มข้นของโพแทสเซียมภายในเซลล์ อาจมีการเปลี่ยนแปลงไปมากได้ในคนที่เป็นโรค หรือมีการรบกวนภาวะธำรงดุลของอิเล็กโทรไลต์อย่างรุนแรง เช่น ผู้ป่วยที่เป็นโรคเอดส์ขั้นสุดท้าย จะมีอาการท้องร่วงรุนแรงและขาดอาหาร ทำให้รบกวนภาวะธำรงดุลของกรด-ด่างและอิเล็กโทรไลต์ภายในร่างกายมาก ตัวอย่างรูปแบบส่วนประกอบของร่างกายที่สัมพันธ์กันในระดับต่าง ๆ แสดงดังในตารางที่ 2.3

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อ

เนื้อเยื่อ คือกลุ่มเซลล์ที่ทำหน้าที่ชนิดเดียวกัน ซึ่งประกอบด้วยเนื้อเยื่อไขมัน (adipose tissue) กล้ามเนื้อ (skeletal muscle) กระดูก (bone) อวัยวะภายใน (visceral organ) เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เนื้อเยื่อประสาท (nervous tissue) เนื้อเยื่อบุผิว (epithelial tissue) และสมอง (brain) เนื้อเยื่อไขมันยังแบ่งย่อยออกเป็นไขมันใต้ผิวหนัง (subcutaneous) ไขมันที่อวัยวะภายใน yellow marrow และร่างแห สำหรับเนื้อเยื่อที่มีความสัมพันธ์กันค่อนข้างคงตัว ได้แก่

อัตราส่วนของเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ/เนื้อเยื่อไขมันสำหรับผู้ชาย	=	0.54
และสำหรับผู้หญิง	=	0.49
อัตราส่วนของปริมาณโพแทสเซียม/เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ	=	3 กรัม/กิโลกรัม
อัตราส่วนของไขมัน/เนื้อเยื่อไขมัน	=	0.8
อัตราส่วนของแร่ธาตุในกระดูก/กระดูก	=	0.54

กระดูกเป็นเนื้อเยื่อเกี่ยวพันที่มีส่วนประกอบหลักเป็นไฮดรอกซีแอพิไทต์ ฝังตัวอยู่ในโปรตีนเมทริกซ์ (protein matrix) เมื่อพิจารณาส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อจะมีส่วนประกอบคือ น้ำหนักของร่างกาย = เนื้อเยื่อไขมัน + กล้ามเนื้อ + กระดูก + อวัยวะ + มวลนิ่ง (rest mass)

เนื้อเยื่อไขมันสามารถวัดได้ด้วย computed tomography หรือ magnetic resonance imaging (MRI)

กระดูกวัดได้ด้วย dual-energy X-ray absorptiometry

อวัยวะวัดได้โดยใช้ MRI หรืออัลตราซาวด์ (อัลตราซาวด์ = คลื่นเหนือเสียง)

ส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อของผู้ชายปกติน้ำหนัก 70 กิโลกรัม ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างรูปแบบความสัมพันธ์ของส่วนประกอบของร่างกายที่ระดับต่าง ๆ (หน่วยเป็นกิโลกรัม)

ระดับ/ระดับ	รูปแบบส่วนประกอบของร่างกาย
อะตอม/อะตอม	กำมะถันทั้งหมดในร่างกาย = 0.062 × ไนโตรเจนทั้งหมดในร่างกาย
อะตอม/อะตอม	ฟอสฟอรัสทั้งหมดในร่างกาย = 0.456 × แคลเซียมทั้งหมดในร่างกาย + 0.555 × โพแทสเซียมทั้งหมดในร่างกาย
อะตอม/โมเลกุล	แคลเซียมทั้งหมดในร่างกาย = 0.364 × แร่ธาตุของกระดูก
อะตอม/โมเลกุล	ไนโตรเจนทั้งหมดในร่างกาย = 0.16 × โปรตีน โปรตีนทั้งหมดในร่างกาย = ไนโตรเจนทั้งหมด × 6.25
อะตอม/โมเลกุล	โพแทสเซียมทั้งหมดในร่างกาย = 0.00266 × มวลของร่างกายที่ไม่มีไขมัน
อะตอม/โมเลกุล	คาร์บอน = 0.774 × ไขมัน
อะตอม/โมเลกุล	กำมะถันทั้งหมดในร่างกาย = 0.010 × โปรตีน
อะตอม/เซลล์	โพแทสเซียมทั้งหมดในร่างกาย = 0.00469 × มวลเซลล์ของร่างกาย
อะตอม/ร่างกาย	ไฮโดรเจนทั้งหมดในร่างกาย = 0.10 × น้ำหนักของร่างกาย
โมเลกุล/โมเลกุล	น้ำทั้งหมดในร่างกาย = 0.732 × มวลของร่างกายที่ไม่มีไขมัน
โมเลกุล/โมเลกุล	ไกลโคเจน = 0.044 × โปรตีน
ร่างกาย/อะตอม	น้ำหนักของร่างกาย = O + C + H + N + Ca + P + S + K + Na + Cl + Mg
ร่างกาย/โมเลกุล	น้ำหนักของร่างกาย = ลิพิด + น้ำ + โปรตีน + แร่ธาตุในกระดูก + แร่ธาตุในเนื้อเยื่อ + ไกลโคเจน
ร่างกาย/โมเลกุล	น้ำหนักของร่างกาย = ไขมัน + มวลของร่างกายที่ไม่มีไขมัน
ร่างกาย/เซลล์	น้ำหนักของร่างกาย = มวลเซลล์ + ของเหลวภายนอกเซลล์ + ของแข็งภายนอกเซลล์
ร่างกาย/เนื้อเยื่อ	น้ำหนักของร่างกาย = เนื้อเยื่อไขมัน + กล้ามเนื้อ + โครงกระดูก + อวัยวะภายใน (viscera) + เลือด + ส่วนที่เหลือ
ร่างกาย/ร่างกาย	น้ำหนักของร่างกาย = หัว + คอ + ลำตัว + แขน + ขา

ที่มา : Heymsfield *et al.* (1997)

ตารางที่ 2.4 ส่วนประกอบของร่างกายระดับเนื้อเยื่อของผู้ชายปกติน้ำหนัก 70 กิโลกรัม

ชนิดของเนื้อเยื่อ	% ต่อน้ำหนักตัว
กล้ามเนื้อ	40
เนื้อเยื่อไขมัน	21.4
เลือด	7.9
กระดูก	7.1
ผิวหนัง	3.7
ตับ	2.6
รวม	**82.7**

ที่มา : Duerenberg (2009)

ดังนั้น ร่างกายของคนอาจแบ่งออกตามชนิดของเนื้อเยื่อได้เป็น 3 ส่วนใหญ่ ๆ ดังนี้

1. มวลเซลล์ (cell mass) เป็นส่วนของเซลล์เนื้อเยื่อและกล้ามเนื้อต่าง ๆ มีหน้าที่เกี่ยวข้องกับการทำงานของร่างกายทั้งหมด

2. เนื้อเยื่อค้ำจุนที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular supporting tissue) มีหน้าที่ช่วยค้ำจุนเซลล์และเนื้อเยื่อ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนย่อย ได้แก่

ก. ของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์ (extracellular fluid) ประกอบด้วยเลือด พลาสมา น้ำเหลือง และของเหลวอื่น ๆ ในร่างกาย

ข. แร่ธาตุและเส้นใยโปรตีนที่อยู่ในโครงกระดูก และเนื้อเยื่อค้ำจุนอื่น ๆ

3. ไขมัน เป็นส่วนของพลังงานที่ร่างกายสะสมไว้ที่เนื้อเยื่อไขมัน บริเวณใต้ผิวหนังและรอบ ๆ อวัยวะภายใน และมีลิพิดเป็นส่วนที่จำเป็นสำหรับร่างกายอีกด้วย

ร่างกายของคนที่มีสุขภาพดีจะมีมวลเซลล์ประมาณ 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เป็นเนื้อเยื่อค้ำจุนที่อยู่ภายนอกเซลล์ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ และเป็นไขมันที่ร่างกายสะสมไว้ประมาณ 15 เปอร์เซ็นต์ สัดส่วนนี้เปลี่ยนแปลงได้ เช่น คนที่อดอาหาร (starvation) หรือคนผอม (emaciation) จะมีมวลเซลล์ลดลงและไขมันถูกใช้ไปหมดไม่มีเหลืออยู่เลย ทำให้เนื้อเยื่อค้ำจุนที่อยู่ภายนอกเซลล์มีประมาณเพิ่มขึ้นได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ในทางตรงกันข้ามคนอ้วนจะมีไขมันสะสมไว้สูงมาก ทำให้ส่วนประกอบอื่น ๆ ของร่างกายลดน้อยลง

ส่วนประกอบระดับร่างกาย

การวัดส่วนประกอบในระดับร่างกาย เป็นการวัดอย่างง่าย ๆ (simple body parameter) เพื่อให้มองเห็นภาพส่วนประกอบภายในร่างกายบนพื้นฐานความสัมพันธ์ทางสถิติที่ได้มีการศึกษาไว้ก่อนแล้ว เช่น ความหนาของชั้นผิวหนัง (skinfold thickness) ไขมันในร่างกายโดยวัดความหนาแน่น (body density) หรือวัดขนาดของร่างกายโดยการชั่งน้ำหนักและวัดส่วนสูงที่สัมพันธ์กับอายุและเพศ เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างส่วนประกอบของร่างกายแต่ละระดับ

ส่วนประกอบของร่างกายทั้ง 5 ระดับ มีความสัมพันธ์กัน เช่น การหาปริมาณโพแทสเซียมในร่างกายสามารถนำไปหามวลเซลล์ของร่างกายได้ เพราะโพแทสเซียมส่วนใหญ่อยู่ภายในเซลล์ การวัดความหนาของชั้นผิวหนังสามารถใช้ประเมินปริมาณไขมันในร่างกายได้ เนื้อเยื่อไขมันประกอบด้วยเซลล์ไขมันหรือแอดิโพไซต์ (adipocyte) ซึ่งเป็นเซลล์ที่มีหน้าที่เก็บสะสมไตรกลีเซอไรด์ในรูปหยดไขมันเล็ก ๆ (small fat droplet) เนื้อเยื่อไขมันมีไตรกลีเซอไรด์ประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์โปรตีน (ในรูปเอนไซม์) ประมาณ 1-2 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือเป็นน้ำและอิเล็กโทรไลต์ เมื่อร่างกายมีน้ำหนักตัวลดลงจะทำให้เนื้อเยื่อไขมันลดลง

การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย

ในการวิเคราะห์หาส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย ทำได้ยากและใช้เวลามาก จึงใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณของของเหลว เช่น น้ำในร่างกาย โดยอาศัยหลักการทำให้เจือจาง (dilution) ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาปริมาณน้ำในร่างกายได้ ดังนี้

1. ปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกาย (total body water)

วิธีวัดปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ในร่างกาย ทำได้โดยการใช้สารประกอบที่มีสมบัติในการแพร่กระจายตัวได้อย่างรวดเร็วไปตามของเหลวต่าง ๆ ทั่วร่างกาย สารประกอบที่ใช้จะต้องทราบจำนวนที่แน่นอนโดยให้กินทางปาก หรือฉีดเข้าไปทางหลอดเลือดดำ หลังจากที่ปล่อยให้สารแพร่กระจายตัวในร่างกายชั่วระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งคาดว่ากระจายไปทั่วร่างกายแล้ว เจาะเลือดวัดความเข้มข้นของสารนั้นในพลาสมา แล้วนำมาคำนวณหาปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกายได้ สารประกอบที่นิยมใช้ ได้แก่ ยูเรีย แอนตีไพรีน (antipyrine) แอมิโนไพรีน (aminopyrine) หรือเรดิโอไอโซโทปของน้ำ (D_2O และ T_2O)

$$\text{ปริมาณของน้ำในร่างกาย} = \frac{\text{ปริมาณของสารที่ใช้}}{\text{ความเข้มข้นของสารในพลาสมา}}$$

คนปกติหนัก 65 กิโลกรัม จะมีปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกายประมาณ 40 ลิตร หรือ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย โดยทั่ว ๆ ไปปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกายจะมีประมาณ 50-65 เปอร์เซ็นต์ อาจมีค่าผันแปรมากกว่านี้ขึ้นอยู่กับอายุและความอ้วนของแต่ละคน

เด็กทารกแรกเกิดจะมีปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกายประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย เมื่อมีอายุ 4-6 สัปดาห์ ปริมาณน้ำทั้งหมดในร่างกายมีประมาณ 70-73 เปอร์เซ็นต์ และเมื่อมีอายุเกิน 3 เดือน ปริมาณน้ำจะลดลงเหลือ 65 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย

2. ปริมาณน้ำภายนอกเซลล์ (extracellular water)

สารประกอบหลายชนิด เช่น น้ำตาลซูโครส อินูลิน โซเดียมไทโอซัลเฟต และโซเดียมไทโอไซยาเนต เมื่อฉีดเข้าในร่างกายจะเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ เมื่อเจาะเอาของเหลวภายนอกเซลล์ออกมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของสารเหล่านี้ จะคำนวณหาปริมาณของน้ำภายนอกเซลล์ได้ ในคนปกติปริมาณน้ำภายนอกเซลล์ มีค่าประมาณ 18-24 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย ในคนที่บวมน้ำ (edema) เนื่องจากขาดสารอาหารโปรตีน หรือสาเหตุใดก็ตาม ค่านี้จะเพิ่มขึ้นถึง 50 เปอร์เซ็นต์ และในทางตรงกันข้ามคนที่ขาดน้ำ (dehydration) ค่านี้จะลดลงอย่างมาก

3. ปริมาณน้ำภายในเซลล์ (intracellular water and cell water)

ปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ภายในเซลล์ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ต้องหาจากการคำนวณโดยการนำค่าปริมาณน้ำทั้งหมดที่อยู่ภายนอกเซลล์ มาลบออกจากปริมาณน้ำทั้งหมดที่มีอยู่ภายในร่างกาย ถ้าน้ำทั้งหมดในร่างกายมี 40 ลิตร และน้ำภายนอกเซลล์มี 15 ลิตร ปริมาณน้ำภายในเซลล์จะมี 25 ลิตร น้ำจำนวนนี้จะอยู่ในเซลล์ของกล้ามเนื้อ 75 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่เหลือจะอยู่ในเม็ดเลือดแดง เซลล์สมอง เซลล์ของเอ็น (tendon) และเซลล์ของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่าง ๆ

4. มวลเซลล์ (cell mass)

มวลเซลล์ ประกอบด้วยน้ำประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ ถ้าทราบปริมาณน้ำภายในเซลล์จะสามารถคำนวณหามวลเซลล์ในร่างกายได้ดังนี้

มวลเซลล์ = ปริมาณน้ำภายในเซลล์เป็นลิตร $\times \frac{100}{70}$ กิโลกรัม

$= 25 \times \frac{100}{70} = 35.7$ กิโลกรัม

เมื่อเปรียบเทียบกับคนที่มีน้ำหนักตัว 65 กิโลกรัม คิดเป็นมวลเซลล์ = $35.7 \times \frac{100}{65}$

= 55 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักร่างกาย

ดังนั้น คนปกติจะมีมวลเซลล์มากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำหนักร่างกายเล็กน้อย แต่ในคนอ้วนปริมาณของมวลเซลล์จะลดลง

5. ไขมันในร่างกาย (body fat)

ปริมาณของไขมันในร่างกายในอดีตจะหาได้โดยอาศัยหลักของ Archimedes คือ ชั่งน้ำหนักของคนเปรียบเทียบกับเมื่อชั่งใต้น้ำ เพื่อหาความหนาแน่นของร่างกาย ค่าความหนาแน่นของไขมันคนมีค่า 0.9 และค่าความหนาแน่นของร่างกายที่ไม่มีไขมัน (fat-free body) มีค่า 1.1 ถ้าสมมติให้ (X) เป็นเปอร์เซ็นต์ของไขมันในร่างกาย จะได้สมการดังนี้

$$\frac{100}{\text{ความหนาแน่นของร่างกาย}} = \frac{100 - (X)}{1.1} + \frac{(X)}{0.9}$$

$$(X) = \frac{459}{\text{ความหนาแน่นของร่างกาย}} - 450$$

เมื่อทราบความหนาแน่นของร่างกาย จะสามารถคำนวณหาปริมาณของไขมันในร่างกายได้ ค่านี้ยังผันแปรได้และขึ้นอยู่กับอายุด้วย เช่น ในเด็กทารกจะมีไขมันในร่างกายเพียง 5 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น

ความหนาของไขมันที่สะสมอยู่ใต้ผิวหนังนั้น วัดได้โดยใช้ skinfold caliper ค่าที่ได้เรียกว่า skinfold thickness ซึ่งใช้เป็นตัวบ่งชี้ระดับของความอ้วน (degree of obesity) ได้

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยเพื่อศึกษาส่วนประกอบทางเคมีของร่างกายได้มีการพัฒนากันมาอย่างต่อเนื่อง ซึ่งปัจจุบันมีบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาส่วนประกอบของร่างกายมากมาย (เช่น มีบทความถึง 3,900 บทความ มีตำรา 18 เล่ม และรายงานในการประชุมสัมมนาระดับนานาชาติ 4 เล่ม) ดังนั้นจึงมีข้อมูลต่าง ๆ มากมาย ตัวอย่างส่วนประกอบของร่างกาย 4 ระดับแรกแสดงดังในตารางที่ 2.5 และวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้วัดส่วนประกอบของร่างกายระดับต่าง ๆ ได้ ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.5 ส่วนประกอบของร่างกาย 4 ระดับแรก

<table>
<tr><th>ระดับอะตอม</th><th>ระดับโมเลกุล</th><th>ระดับเซลล์</th><th>ระดับเนื้อเยื่อ</th></tr>
<tr><td>N, Ca, P, K, Na, Cl</td><td>ลิพิด</td><td rowspan="4">เซลล์ไขมัน
(adipocyte)
เซลล์กล้ามเนื้อ
ของเหลว
ภายนอกเซลล์</td><td rowspan="2">เนื้อเยื่อไขมัน
(adipose tissue)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">H</td><td rowspan="3">น้ำ</td></tr>
<tr><td rowspan="2">กล้ามเนื้อ
(skeletal muscle)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">C</td></tr>
<tr><td rowspan="3">O</td><td>โปรตีน</td><td rowspan="3">อวัยวะภายในและ
ส่วนอื่น ๆ</td></tr>
<tr><td>ไกลโคเจน</td><td rowspan="2">ของแข็ง
ภายนอกเซลล์</td></tr>
<tr><td>แร่ธาตุต่าง ๆ</td><td>โครงกระดูก
(skeleton)</td></tr>
</table>

ที่มา : Heymsfield *et al.* (1997)

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างวิธีคำนวณหาส่วนประกอบทางเคมีของร่างกาย

วิธีการ	สมการคำนวณที่ใช้	วิธีที่ใช้อ้างอิง
Type I property-based methods	ไขมัน = 0.65 × น้ำหนักร่างกาย - 0.21 × ความสูง + 14.1	Anthropometry
	มวลร่างกายที่ไม่มีไขมัน = 0.85 × (ความสูง)^2 × Z* + 3.04	Bioimpedance analysis
	กล้ามเนื้อ = 18.9 × ครีอะตินีนที่ขับออกมาในปัสสาวะ 24 ชั่วโมง + 4.1	24-hour urinary creatinine excretion
Type II property-based methods	ไขมัน = 4.95 × ปริมาตรร่างกาย - 4.50 × น้ำหนักร่างกาย	Hydrodensitometry
	มวลของร่างกายที่ไม่มีไขมัน = 5.50 × น้ำหนักร่างกาย - 4.95 × ปริมาตรร่างกาย	Hydrodensitometry
Type I component-based methods	โปรตีน = 0.335 x น้ำทั้งหมดในร่างกาย - 2.53	Tracer dilution
Type II component-based methods	โปรตีน = 6.25 × ไนโตรเจนทั้งหมดในร่างกาย มวลร่างกายที่ไม่มีไขมัน = 1.37 × น้ำทั้งหมดในร่างกาย	Prompt-α *in vivo* neutron activation (IVNA) Tracer dilution
	มวลเซลล์ในร่างกาย = 213 × โพแทสเซียมทั้งหมดในร่างกาย	Whole-body ^{40}K counting
	ไขมัน = 1.30 × คาร์บอนทั้งหมดในร่างกาย - 4.45 × ไนโตรเจนทั้งหมดในร่างกาย - 0.06 × แคลเซียมทั้งหมดในร่างกาย	Prompt-γ IVNA และ inelastic neutron scattering

ที่มา : Heymsfield *et al.* (1997)

เอกสารประกอบการเรียบเรียง

1. นิธิยา รัตนาปนนท์ และวิบูลย์ รัตนาปนนท์. 2537. *โภชนศาสตร์เบื้องต้น*. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ หน้า 3-7.
2. Deurenberg, P. 2009. Body Composition. ***In*** *Introduction to Human Nutrition.* 2nd ed. (M.J. Gibney, S.A. Lanham-New, A. Cassidy and H.H. Vorster, eds.) Wiley-Blackwell, A John Wiley & Son, Ltd., West Sussex, pp. 12-15.
3. Eastwood, M. 2003. *Principles of Human Nutrition.* 2nd ed. Blackwell Publishing, Inc., MA, pp. 141-143.
4. Heymsfield, S.B., Wang, Z.M.R., Baumgartner, R.N. and Ross, R. 1997. Human body composition : Advances in models and methods. *Annual Review of Nutrition.* 17: 527-558.
5. Wang, Z.M.R., Pierson, N. Jr. and Heymsfield, S.B. 1992. The five level model : a new approach to organizing body composition research. *American Journal Clinical Nutrition* 56 : 19-28.
6. Walker, A.F. 1990. *Human Nutrition.* Cambridge University Press, Cambridge, pp. 4-5.

บทที่ 3

น้ำและอิเล็กโทรไลต์ในร่างกาย

สิ่งที่มีชีวิตทุกชนิดต้องมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในเซลล์ น้ำจึงเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับสิ่งที่มีชีวิตรองจากก๊าซออกซิเจน มวลของร่างกายคนมีน้ำเป็นส่วนประกอบอยู่ภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อและอวัยวะต่างๆ ประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว เช่น ในร่างกายของผู้ชายปกติที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม จะมีน้ำประมาณสองในสามส่วนของน้ำหนักตัว หรือประมาณ 40 ลิตร ทารกและเด็กมีสัดส่วนของน้ำต่อเนื้อเยื่อมากกว่าผู้ใหญ่ คนอ้วนมีสัดส่วนของน้ำน้อยกว่าคนผอม เพราะเนื้อเยื่อไขมันมีน้ำเป็นส่วนประกอบน้อยกว่าเนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ คือ มีอยู่เพียง 10 เปอร์เซ็นต์เท่านั้น ขณะที่เนื้อเยื่อชนิดอื่นๆ มีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์

น้ำเป็นสิ่งจำเป็นต่อร่างกาย เพราะทำหน้าที่เป็นตัวทำละลายและเป็นตัวกลางให้ไอออนและโมเลกุลของสารอาหาร เอนไซม์ และสารเคมีต่างๆ ทั้งสารอินทรีย์และอนินทรีย์ที่อยู่ภายในเซลล์ละลายหรือกระจายตัวอยู่ในรูปของสารละลายแท้และสารละลายคอลลอยด์ น้ำยังจำเป็นสำหรับการเกิดปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่างๆ ภายในเซลล์ และทำหน้าที่ขนย้ายพาสารอาหาร สารประกอบอื่นๆ และโปรดักต์ที่เกิดจากเมแทบอลิซึมภายในเซลล์มายังเลือด หรือจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง เช่น การขนย้ายสารอาหารในกระแสเลือดไปยังเซลล์ต่างๆ พาสารต่างๆ เข้า-ออกระหว่างภายในเซลล์และภายนอกเซลล์ และการขนย้ายของเสียออกจากเซลล์เข้าสู่กระแสเลือดเพื่อขับออกจากร่างกายทางไตในรูปของปัสสาวะและทางผิวหนังในรูปของเหงื่อ

การกระจายตัวของน้ำในร่างกาย

ร่างกายของคนปกติจะมีน้ำประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่มีอยู่มากที่สุดในร่างกาย เมื่อเปรียบเทียบเป็นปริมาตรสำหรับคนที่มีน้ำหนักตัว 70 กิโลกรัม จะมีน้ำทั้งหมดประมาณ 42 ลิตร ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

1. น้ำที่อยู่ภายในเซลล์ คือน้ำที่อยู่ภายในเซลล์เมมเบรน มีประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว หรือ 67 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดในร่างกาย หรือประมาณ 28 ลิตร เป็นของเหลวที่อยู่ภายในเซลล์ของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

2. น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์ คือน้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์เมมเบรน มีประมาณ 14 ลิตร เป็นพลาสมาในเลือดประมาณ 3.5 ลิตร หรือประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดในร่างกาย ซึ่งในพลาสมาประกอบด้วยน้ำประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์

น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์อีกประมาณ 10.5 ลิตร ได้แก่ น้ำที่เป็นส่วนประกอบของของเหลวที่แทรกตัวอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ และน้ำเหลืองมีประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดในร่างกาย และยังมีน้ำอยู่ในกระดูกอ่อนและเนื้อเยื่อเกี่ยวพันประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ น้ำในสมองและไขสันหลัง 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำหล่อเซลล์ และของเหลวที่ร่างกายหลั่งออกมา เช่น น้ำลายและน้ำย่อยในระบบย่อยอาหาร 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำดี 1 เปอร์เซ็นต์ และเป็นตัวทำละลายประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งตัวถูกละลาย ได้แก่ โปรตีน อิเล็กโทรไลต์ ยูเรีย และลิโพโปรตีน สำหรับเนื้อเยื่อไขมัน (แอดิโพสทิชชู) จะมีน้ำอยู่น้อยมาก ส่วนในกล้ามเนื้อมีน้ำประมาณ 73 เปอร์เซ็นต์ของน้ำทั้งหมดในร่างกาย (ตารางที่ 3.1)

น้ำที่อยู่ภายนอกเซลล์เป็นส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ง่ายทั้งปริมาณและส่วนประกอบ เพราะเป็นส่วนที่ติดต่อกับระบบย่อยอาหารและระบบขับถ่ายต่าง ๆ เช่น ถ้ากินอาหารมากกว่าปกติจะทำให้ส่วนประกอบของเลือดมีความเข้มข้นมากขึ้น ถ้าดื่มน้ำมาก ๆ จะทำให้ส่วนประกอบของเลือดเจือจางลง ภาวะเหล่านี้ร่างกายแก้ไขให้กลับเป็นปกติได้ โดยไตจะทำหน้าที่รักษาภาวะสมดุลของน้ำ เช่น ขับน้ำส่วนที่มากเกินความต้องการของร่างกายออกไปทางไตในรูปปัสสาวะ เป็นต้น ผนังเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกายมีสมบัติพิเศษที่ยอมให้น้ำผ่านเข้า-ออกได้อย่างเสรี เพื่อรักษาความดันออสโมซิสในแต่ละส่วนของร่างกายที่มีสารละลายไม่เหมือนกัน ทำให้น้ำต้องกระจายอยู่ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายแตกต่างกันตามความเหมาะสม

ตารางที่ 3.1 การกระจายตัวของน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

การกระจายตัวของน้ำในร่างกาย	เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว	เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำทั้งหมดในร่างกาย	ปริมาตรน้ำในผู้ชายที่มีน้ำหนัก 70 กิโลกรัม (ลิตร)
น้ำทั้งหมดในร่างกาย	60	-	42
น้ำภายนอกเซลล์	20	33	14
พลาสมา	5	8	3.5
น้ำในช่องว่างระหว่างเซลล์	15	25	10.5
น้ำภายในเซลล์	40	67	28

ที่มา : Gropper *et al.* (2005)

อิเล็กโทรไลต์ในร่างกาย

อิเล็กโทรไลต์ หมายถึง ไอออนประจุบวก (cation) และไอออนประจุลบ (anion) ที่กระจายตัวอยู่ทั่วไปในของเหลวแต่ละส่วนของร่างกาย เช่น ในพลาสมา ร่างกายจะมีกลไกในการรักษาความเข้มข้นของไอออนประจุบวกให้เท่ากับความเข้มข้นของไอออนประจุลบ เรียกว่า electrical neutrality

ในร่างกายอิเล็กโทรไลต์จะละลายอยู่ในของเหลวภายในเซลล์ (intracellular fluid) และของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluid) อิเล็กโทรไลต์ที่เป็นไอออนประจุบวก ได้แก่ โซเดียม โพแทสเซียม แคลเซียม และแมกนีเซียมไอออน ซึ่งจะอยู่ในภาวะสมดุลกับไอออนประจุลบ ได้แก่ คลอไรด์ ไบคาร์บอเนต และโปรตีนไอออน นอกจากนี้ยังมีกรดอินทรีย์ ฟอสเฟต และซัลเฟตไอออนอีกเล็กน้อย ซึ่งละลายอยู่ในของเหลวทั้งภายในและภายนอกเซลล์ ในปริมาณที่แตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ชนิดและปริมาณของอิเล็กโทรไลต์ที่อยู่ในของเหลวภายในเซลล์และของเหลวภายนอกเซลล์ทั้งที่เป็นไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบ

ไอออนประจุบวก	พลาสมา (มิลลิสมมูล/ลิตร)	ของเหลวระหว่างเซลล์ (มิลลิสมมูล/ลิตร)	ของเหลวภายในเซลล์ (มิลลิสมมูล/ลิตร)
โซเดียม (Na^+)	142	145	10
โพแทสเซียม (K^+)	4	4	156
แคลเซียม (Ca^{2+})	5	2-3	3.2
แมกนีเซียม (Mg^{2+})	2	1-2	26
รวม	**153**	**153**	**195**
ไอออนประจุลบ	**พลาสมา (มิลลิสมมูล/ลิตร)**	**ของเหลวระหว่างเซลล์ (มิลลิสมมูล/ลิตร)**	**ของเหลวภายในเซลล์ (มิลลิสมมูล/ลิตร)**
คลอไรด์ (Cl^-)	103	116	2
ไบคาร์บอเนต (HCO_3^-)	28	31	8
โปรตีน	17	-	55
ซัลเฟต ($SO_4^=$) ฟอสเฟต ($PO_4^=$) กรดอินทรีย์	5	6	130
รวม	**153**	**153**	**195**

ที่มา : Gropper *et al.* (2005)

การรักษาภาวะสมดุลของอิเล็กโทรไลต์

ของเหลวภายในเซลล์และภายนอกเซลล์จะมีจำนวนของไอออนประจุบวกเท่ากับจำนวนของไอออนประจุลบเสมอ เพื่อให้เกิดภาวะสมดุลระหว่างประจุทั้งสอง และร่างกายจำเป็นต้องใช้พลังงานส่วนหนึ่งในการควบคุมภาวะสมดุลของไอออนทั้งสองชนิด ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ผ่านเข้า-ออกผนังเซลล์อยู่ตลอดเวลา การควบคุมภาวะสมดุลของอิเล็กโทรไลต์และค่าพีเอชของเลือด จะเกี่ยวข้องกับการทำหน้าที่ของไต โดยสารต่าง ๆ ที่อยู่ในพลาสมาสามารถกรองผ่านโกลเมอรูลัส (glomerulus) ได้อย่างอิสระที่ไต ยกเว้นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลตั้งแต่ 50,000 ดาลตันขึ้นไปจะไม่สามารถกรองผ่านโกลเมอรูลัสได้ สารบางชนิดที่เป็นของเสียที่เกิดขึ้นในเมแทบอลิซึมจะถูกกำจัดออกทางปัสสาวะ โดยไม่ได้ถูกดูดซึมกลับ หรืออาจมีการดูดซึมกลับเพียงเล็กน้อยที่หลอดไต (tubule) การดูดซึมกลับอาจเป็นทั้งกลไกที่ใช้พลังงาน (active) และไม่ใช้พลังงาน (passive) หรือทั้ง 2 อย่างร่วมกัน

สำหรับอิเล็กโทรไลต์ทั้งไอออนประจุบวกและไอออนประจุลบมีหน้าที่ ดังนี้

ก. เกี่ยวข้องกับการออสโมซิส ช่วยดึงน้ำไว้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายให้เหมาะสม

ข. ช่วยในการทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ประสาท

ค. ช่วยในการทำงานของเซลล์ที่ทำหน้าที่ในการหลั่งสารต่าง ๆ

ง. ช่วยควบคุมความไวต่อการกระตุ้น (irritability, I) ของเซลล์ให้อยู่ในภาวะปกติโดยมีสัดส่วนที่เหมาะสม

$$\text{Irritability (I)} = \frac{[Na^+] + [K^+]}{[H^+] + [Ca^{2+}] + [Mg^{2+}]}$$

ภาวะสมดุลของน้ำในร่างกาย

ร่างกายของคนปกติสามารถมีชีวิตอยู่ได้ ถึงแม้จะไม่ได้รับอาหารเป็นเวลาหลายสัปดาห์ แต่ไม่สามารถมีชีวิตอยู่ได้เมื่อขาดน้ำเพียง 2-3 วัน โดยปกติ ร่างกายจะพยายามรักษาภาวะสมดุลของน้ำอยู่เสมอ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของน้ำที่ร่างกายได้รับเข้าไป และจำนวนน้ำที่ร่างกายขับออกมา ร่างกายจะสูญเสียน้ำอยู่ตลอดเวลาทางผิวหนัง น้ำจะไม่ถูกเก็บสะสมไว้ในร่างกาย จึงจำเป็นต้องได้รับน้ำทุกวัน น้ำส่วนใหญ่เข้าสู่ร่างกายโดยปะปนไปกับอาหาร การดื่มน้ำ เครื่องดื่มชนิดต่าง ๆ และอาหารหลายชนิดมีเปอร์เซ็นต์น้ำสูง เช่น ผักและผลไม้ ในแต่ละวันควรดื่มน้ำประมาณ 1.5 ลิตร (6-8 แก้ว)

น้ำที่ร่างกายได้รับจากอาหารและเครื่องดื่มต่าง ๆ จะเข้าสู่ร่างกายโดยการดูดซึมที่กระเพาะอาหารและลำไส้เล็กพร้อมกับสารอาหารชนิดต่าง ๆ ในรูปสารละลาย และบางส่วนจะถูกดูดซึมที่ลำไส้ใหญ่ นอกจากนั้นยังมีน้ำบางส่วนที่ร่างกายได้รับจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นจากกระบวนการเมแทบอลิซึมภายในเซลล์ เรียกว่า น้ำจากเมแทบอลิซึม (metabolic water) เช่น ปฏิกิริยาการออกซิไดส์น้ำตาลกลูโคส 1 กรัม ให้เป็นพลังงาน จะได้น้ำออกมาประมาณ 0.6 กรัม การออกซิไดส์โปรตีนและไขมันจะได้น้ำออกมา 0.41 และ 1.07 กรัม ตามลำดับ

ร่างกายสูญเสียน้ำประมาณวันละ 1.5 ลิตร ส่วนใหญ่สูญเสียออกจากร่างกายทางไตในรูปของปัสสาวะ อย่างน้อยวันละ 600 มิลลิลิตร เพื่อขับของเสียออกจากร่างกาย ได้แก่ ยูเรีย แอมโมเนีย และกรดยูริก เป็นต้น น้ำบางส่วนระเหยออกทางผิวหนังที่ขับออกมาในรูปของเหงื่อ และระเหยเป็นไอน้ำออกมาทางลมหายใจออก และมีส่วนน้อยออกมากับอุจจาระ ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับและที่ขับออกจากร่างกาย ดังแสดงในตารางที่ 3.3

การเปลี่ยนภาวะสมดุลของน้ำเพียง 1-2 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้เกิดความผิดปกติแก่ร่างกาย และอาจตายได้ ระบบการควบคุมภาวะสมดุลของน้ำในร่างกายอยู่ที่สมองส่วนไฮโพทาลามัส

ตารางที่ 3.3 ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับและที่ขับออกจากร่างกายในคนปกติ

ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับ		ปริมาณน้ำที่ขับออกจากร่างกาย	
อาหาร	700-1,000 มิลลิลิตร	ปัสสาวะ	1,400 มิลลิลิตร
น้ำและเครื่องดื่ม	550-1,500 มิลลิลิตร	ลมหายใจออกทางปอด	350 มิลลิลิตร
น้ำที่ได้จากการออกซิเดชันสารอาหาร		ผิวหนังและเหงื่อ	450-900 มิลลิลิตร
ภายในร่างกาย	200-300 มิลลิลิตร	อุจจาระ	150 มิลลิลิตร
รวม	**1450-2,800 มิลลิลิตร**	**รวม**	**1450-2,800 มิลลิลิตร**

ที่มา : ดัดแปลงจาก Sizer and Whitney (2000)

ปัจจัยที่มีผลต่อภาวะสมดุลของน้ำในร่างกาย

ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับและที่ขับถ่ายออกจากร่างกายในแต่ละวันจะอยู่ในภาวะสมดุลได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ได้แก่

1. อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมรอบตัวเรา ถ้าอุณหภูมิรอบตัวเราสูงกว่าอุณหภูมิของร่างกาย จะทำให้ร่างกายจะพยายามขับเหงื่อออกมา ส่งผลให้น้ำระเหยออกทางผิวหนังได้มากขึ้น ร่างกายจะสูญเสียน้ำมากขึ้น

2. ความชื้นสัมพัทธ์ของบรรยากาศ ถ้าอากาศรอบ ๆ ตัวเรามีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ อากาศแห้ง หรือมีลมพัดแรง จะสูญเสียน้ำออกทางผิวหนังมากกว่าปกติ เช่น ในฤดูหนาว ผิวจะแห้งเนื่องจากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ

3. การออกกำลังกาย ถ้าออกกำลังกายมาก ๆ ร่างกายจะสูญเสียน้ำทางผิวหนังและทางลมหายใจออกมากขึ้น เช่น นักกีฬาที่เสียเหงื่อมาก ร่างกายจะสูญเสียทั้งน้ำและไอออน โดยเฉพาะไอออนที่อยู่ในของเหลวภายนอกเซลล์ เช่น โซเดียมไอออน ดังนั้นจึงต้องกินเข้าไปทดแทนให้เพียงพอ เช่น การดื่มน้ำเกลือแร่

4. ส่วนประกอบของอาหารที่กินเข้าไป ถ้าอาหารที่กินเข้าไปมีน้ำมาก ร่างกายจะได้รับน้ำมาก เช่น การกินข้าวต้มแทนข้าวสวย หากอาหารที่กินเข้าไปมีน้ำน้อย จะทำให้ร่างกายได้รับน้ำน้อยไปด้วย

5. การกระหายน้ำ เมื่อร่างกายสูญเสียน้ำมากกว่าปกติจะกระตุ้นให้เกิดความรู้สึกกระหายน้ำ ทำให้ต้องดื่มน้ำเข้าไปทดแทนน้ำที่สูญเสียไป เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในร่างกายให้อยู่ในภาวะปกติ

6. ฮอร์โมนจากต่อมพิทูอิทารี (pituitary gland) เมื่อร่างกายขาดน้ำ ต่อมพิทูอิทารีส่วนหลังจะหลั่งแอนตีไดยูรีติกฮอร์โมน (antidiuretic hormone, ADH) ออกมา และส่งไปยังไต เพื่อทำหน้าที่ควบคุมให้ไตดูดซึมน้ำกลับเข้าสู่ร่างกายมากขึ้น ทำให้มีน้ำขับออกมาในรูปปัสสาวะลดน้อยลง เมื่อมีน้ำถูกขับออกมาน้อยอาจทำให้ปัสสาวะขุ่นข้นได้ โดยปกติในปัสสาวะมีน้ำเป็นส่วนประกอบประมาณ 97 เปอร์เซ็นต์

หน้าที่ของน้ำในร่างกาย

น้ำมีหน้าที่และมีความสำคัญต่อร่างกาย ดังต่อไปนี้

1. น้ำเป็นส่วนประกอบที่สำคัญภายในเซลล์ ของเหลวต่าง ๆ ทั่วร่างกาย เป็นส่วนประกอบของเลือด ซึ่งในเลือดมีน้ำอยู่ประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์ และน้ำยังเป็นส่วนประกอบของอวัยวะต่าง ๆ (ตารางที่ 3.4)

2. น้ำเป็นตัวทำละลาย ทำหน้าที่ละลายสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น น้ำตาลกลูโคส กรดแอมิโน วิตามิน แร่ธาตุ และสารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดเล็กอื่น ๆ

3. ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้คงที่ หากร่างกายมีอุณหภูมิสูงจะระเหยน้ำออกทางผิวหนังและปอด เพื่อช่วยลดอุณหภูมิของร่างกาย

4. ช่วยในการย่อย การดูดซึม และการนำพาสารอาหารต่าง ๆ ไปยังเซลล์ต่าง ๆ ทั่วร่างกาย

5. ช่วยในการไหลเวียนของสารต่าง ๆ ภายในร่างกาย

6. ช่วยในการขับถ่ายและกำจัดของเสียออกจากร่างกายทางไต โดยละลายอยู่ในปัสสาวะ เช่น ยูเรีย แอมโมเนีย กรดยูริก และสารพิษที่ร่างกายอาจได้รับและขับออกทางไต

7. ร่วมในปฏิกิริยาทางชีวเคมีต่าง ๆ ในเมแทบอลิซึม เช่น ปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของสารอาหารต่าง ๆ ในร่างกายจะเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์ต้องมีน้ำ

8. ช่วยหล่อลื่นในการทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น ตา ไขสันหลัง ข้อต่อ และน้ำในถุงน้ำคร่ำ

9. ช่วยให้ผิวหนังชุ่มชื้นไม่แห้ง หากร่างกายได้รับน้ำไม่เพียงพอจะทำให้ผิวหนังเหี่ยวแห้ง

ตารางที่ 3.4 ปริมาณน้ำในส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

ส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย	ปริมาณน้ำ (%)
ร่างกายคน	65
สมอง (ส่วนสีขาว)	68
สมอง (ส่วนสีเทา)	84
ตับ	76
กล้ามเนื้อ	73
เลือด	90
กระดูก	10-40
โปรโทพลาสซึม	70-93
น้ำลาย	99.5
น้ำนม	87
เส้นผมและขน	4-9

ที่มา : Groff and Gropper (2000)

ความต้องการน้ำของร่างกาย

ในแต่ละวันร่างกายจะหลั่งน้ำย่อยออกมาในระบบทางเดินอาหารประมาณ 6-7 ลิตร ประกอบด้วย น้ำลายประมาณ 1 ลิตร น้ำย่อยในกระเพาะอาหาร 1.5 ลิตร น้ำย่อยจากตับอ่อน 1 ลิตร น้ำดี 1 ลิตร น้ำย่อยในลำไส้เล็ก 2 ลิตร และในลำไส้ใหญ่อีกประมาณ 200 มิลลิลิตร น้ำเหล่านี้ส่วนใหญ่ถูกดูดซึมกลับเข้าสู่ร่างกาย

ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดแน่นอนว่า ร่างกายคนปกติในแต่ละวันควรได้รับน้ำปริมาณน้อยที่สุดเท่าใด อย่างไรก็ตาม สำหรับคนที่อยู่ในสภาพอากาศอบอุ่น เพื่อให้ร่างกายได้รับน้ำเพียงพอ ผู้ใหญ่ควรได้รับน้ำ 1 มิลลิลิตรต่อกิโลแคลอรี และเด็กทารกควรได้รับ 1.5 มิลลิลิตรต่อกิโลแคลอรี ปริมาณน้ำจำนวนนี้ผันแปรได้ขึ้นอยู่กับอากาศและภาวะของร่างกาย เช่น เป็นไข้ อาเจียน ท้องร่วง กินยาขับปัสสาวะ หรือกินอาหารที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ร่างกายจะต้องการน้ำมากกว่าปกติด้วย

ปัจจัยที่ทำให้ร่างกายต้องการน้ำมากกว่าปกติ

ในบางภาวะร่างกายมีความต้องการน้ำมากกว่าปกติ เช่น

1. ดื่มแอลกอฮอล์ หรือกาเฟอีน
2. คนที่เป็นโรคเบาหวาน เนื่องจากมีน้ำตาลถูกขับออกมาในปัสสาวะมากขึ้น จึงต้องใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย ส่งผลให้ร่างกายสูญเสียน้ำ จึงต้องการน้ำมากกว่าปกติ
3. การออกกำลังมาก หรืออากาศร้อน ร่างกายจะสูญเสียเหงื่อมาก
4. นั่งอยู่ในเครื่องบินนาน หรืออยู่ในห้องปรับอากาศที่มีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอากาศอุ้มไอน้ำได้ลดลง ทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ
5. การกินยาขับปัสสาวะ ทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำออกมาในรูปปัสสาวะมากกว่าปกติ
6. กินอาหารที่มีรสเค็มจัด หวานจัด หรือกินอาหารที่มีโปรตีนและเส้นใยอาหารมากเกินไป
7. ร่างกายของหญิงมีครรภ์และหญิงให้นมบุตรต้องการน้ำมากกว่าปกติ
8. เมื่อเกิดอาการท้องร่วง อาเจียน หรือเป็นไข้ ร่างกายจะต้องการน้ำมากขึ้น
9. การผ่าตัดเสียเลือด ถูกไฟลวกหรือน้ำร้อนลวกจะทำให้มีของเหลวคั่งอยู่ใต้ผิวหนังบริเวณที่ถูกลวก ทำให้ร่างกายสูญเสียน้ำ
10. เด็กทารกและผู้สูงอายุต้องการน้ำมากกว่าคนปกติ

ปริมาณน้ำในอาหาร

อาหารที่บริโภคทุกชนิดจะมีน้ำเป็นส่วนประกอบมากน้อยแตกต่างกันตามชนิดของอาหาร เช่น ผักและผลไม้มีน้ำมากประมาณ 90-95 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างปริมาณน้ำในอาหารบางชนิด ดังแสดงในตารางที่ 3.5

อาการที่เกิดขึ้นเมื่อร่างกายขาดน้ำและได้รับน้ำมากเกินไป

เมื่อร่างกายขาดน้ำหรือได้รับน้ำมากเกินไป จะทำให้เกิดอาการผิดปกติได้ ดังนี้

1. ภาวะที่ร่างกายขาดน้ำ สาเหตุการขาดน้ำอาจเกิดเนื่องจากการได้รับน้ำไม่เพียงพอ หรือหากขาดน้ำอย่างรุนแรง อาจเกิดจากการอาเจียน หรือท้องร่วง หรือขาดโซเดียมไอออนอย่างใดอย่างหนึ่ง ซึ่งการสูญเสียน้ำน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะส่งผลให้เกิดอาการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.5 ปริมาณน้ำในอาหารบางชนิด

ตัวอย่างอาหาร	ปริมาณน้ำ (%)	ตัวอย่างอาหาร	ปริมาณน้ำ (%)
นมผง	4	แตงไท (melon)	92-94
น้ำนม	87	ส้ม	86-89
เนยแข็งเชดดาร์	37	ผลไม้พวกเบอรีชนิดต่าง ๆ	81-90
Cottage cheese	79	ฝรั่งสุก	81
ครีม	60-70	มะละกอสุก	72-75
ไอศกรีมและเชอร์เบต (sherbet)	65	อะโวกาโด	65
น้ำมันทอดอาหาร	0	มันเทศ	69
มายองเนส มาการีน และเนย	15	มันฝรั่ง	78
น้ำสลัด (salad dressing)	40	หัวผักกาด	93
เนื้อสัตว์ต่าง ๆ	55-60	แตงกวา	96
ธัญชาติ (whole grain)	10-20	เมล็ดถั่วแห้ง	10-12
อาหารเช้าจากธัญชาติ (cereal breakfast)	3-4	ผักแห้ง	7-10
แป้ง (flour)	10-13	ผลไม้แห้ง	25
ขนมพาย (pie)	43-59	แครกเกอร์	5-8
ขนมปัง	35-45	แยมและมาร์มาเลด	28-30
ไข่ต้ม	75	ไข่ผง	5

ที่มา : Kirk and Sawyer (1991)

ก. รู้สึกกระหายน้ำ

ข. น้ำหนักตัวลดลง

ค. ริมฝีปากและผิวหนังแห้ง ตาโหล ชีพจรเต้นเร็ว

ง. ถ้าร่างกายขาดน้ำมาก ๆ ปริมาณเลือดจะลดลง มีเลือดออกจากหัวใจน้อยลง ความดันโลหิตต่ำลง อ่อนเพลีย ส่งผลทำให้อวัยวะต่าง ๆ และเซลล์สมองขาดออกซิเจนและสารอาหาร

จ. ร่างกายไม่สามารถขับความร้อนที่มากเกินพอออกทางเหงื่อ จะทำให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น (hyperthermia) และเกิดอาการเป็นลมแพ้ร้อนหรือลมแดด (heat stroke)

ฉ. การทำงานของไตผิดปกติ

ช. เกิดการเปลี่ยนแปลงภาวะสมดุลของกรด-ด่างในร่างกาย

ซ. มีปัสสาวะน้อยและมีความเข้มข้นมากกว่าปกติ อาจทำให้เกิดการตกตะกอนได้

หากขาดน้ำรุนแรงมาก เช่น สูญเสียน้ำมากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะมีอาการริมฝีปาก ปลายนิ้ว และเล็บเป็นสีคล้ำ หายใจเร็วและตื้น ชีพจรเต้นอ่อนและเร็วไม่เป็นจังหวะ เลือดข้น ช็อก โคมา และตายได้

สำหรับนักกีฬา หากขาดน้ำประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว อาจทำให้ความสามารถลดลง ถ้าขาดน้ำประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะเกิดอาการเป็นตะคริว เหนื่อย อ่อนเพลีย หมดแรง และหากขาดน้ำ 7-10 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว จะเกิดอาการประสาทหลอน (hallucination) และเกิดอาการเป็นลมแพ้ร้อน ตามด้วยอาการช็อก โคมา และตายได้ในเวลาต่อมา

2. ภาวะที่ร่างกายได้รับน้ำมากเกินไป ถ้าร่างกายได้รับน้ำมากเกินความต้องการจะเกิดอาการดังต่อไปนี้

ก. อุณหภูมิของร่างกายลดลง

ข. อาเจียน

ค. ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีแรง

ง. ชัก หมดสติไม่รู้สึกตัว

อย่างไรก็ตาม การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในร่างกายจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักตัวด้วย

เอกสารประกอบการเรียบเรียง

1. นิธิยา รัตนาปนนท์ และวิบูลย์ รัตนาปนนท์. 2537. *โภชนศาสตร์เบื้องต้น*. โอเดียนสโตร์, กรุงเทพฯ หน้า 49-52.
2. Eastwood, M. 2003. *Principles of Human Nutrition*. 2nd ed. Blackwell Publishing, Inc., Malden, MA, pp. 311-316.
3. Groff, J.L. and Gropper, S.S. 2000. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. 3rd ed. Wadsworth, Thomson Learning, Inc., Victoria, pp. 484-485.
4. Gropper, S.S., Smith, J.L. and Groff, J.L. 2005. *Advanced Nutrition and Human Metabolism*. 4th ed. Wadsworth, Thomson Learning, Inc., Victoria, pp. 501-509.
5. Kirk, R.S. and Sawyer, R. 1991. *Pearson's Composition and Analysis of Foods*. 9th ed. Longan Scientific & Technical, Essex, pp. 685-687.
6. Mudambi, S.R. and Rajagopal, M.V. 2007. *Fundamentals of Foods, Nutrition and Diet Therapy*. 5th ed. New Age International Publishers, New Delhi, pp. 65-66.
7. Sizer, F. and Whitney, E. 2000. *Nutrition : Concepts and Controversies*. 8th ed. Wadsworth, Thomson Learning, Inc., Victoria, pp. 264-268.

บทที่ 4

พฤติกรรมการกินอาหาร

การควบคุมการกินอาหาร

คนทุกคนต้องกินอาหาร เพื่อนำอาหารไปใช้สร้างส่วนประกอบต่าง ๆ ของร่างกาย ทำให้ร่างกายเจริญเติบโต ให้พลังงานและบำรุงร่างกายให้มีสุขภาพดี จำนวนพลังงานที่ร่างกายได้รับในแต่ละวันจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณอาหารที่ร่างกายได้รับ ส่วนจำนวนพลังงานที่ร่างกายต้องใช้ในแต่ละวัน จะขึ้นอยู่กับการทำงานของอวัยวะและเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของร่างกาย จำนวนอาหารที่กินเข้าไปอาจไม่สมดุลพอดีกับจำนวนพลังงานที่ร่างกายต้องการใช้ ถ้าร่างกายได้รับอาหารมากเกินกว่าพลังงานที่ร่างกายต้องการใช้ จะสะสมอาหารส่วนที่มากเกินพอไว้ในรูปของไขมัน และถ้าร่างกายได้รับอาหารน้อยเกินไป จะไปดึงเอาไขมันส่วนที่สะสมไว้ออกมาใช้เปลี่ยนให้เป็นพลังงาน จำนวนอาหารที่ร่างกายได้รับในแต่ละวันจะมากหรือน้อยยังขึ้นอยู่กับพฤติกรรมการกินอาหารของแต่ละคน ซึ่งมีระบบประสาทส่วนกลางเป็นตัวควบคุม ทำให้คนเรามีความหิว (hunger) และความอยากกิน (appetite)

เมื่อเกิดความหิวจะทำให้รู้สึกว่าต้องกินอาหาร ส่วนความอยากกินนั้นเป็นความพอใจในการกินอาหาร ที่สัมพันธ์กับรสชาติและลักษณะปรากฏของอาหารมากกว่าที่จะคิดถึงปริมาณอาหารว่าเพียงพอหรือไม่ เมื่อได้กินอาหารแล้วจะทำให้เกิดความอิ่ม (satiety) ความอิ่มและการเบื่ออาหารเป็นอาการที่ร่างกายไม่ต้องการได้รับอาหารเข้าไปอีกแล้ว แต่ความหมายของความอิ่มและการเบื่ออาหารนั้นแตกต่างกัน เพราะความอิ่มจะเกิดขึ้นภายหลังจากที่ร่างกายได้กินอาหารอิ่มเต็มที่แล้ว ส่วนการเบื่ออาหารนั้นเป็นอาการที่อาจเกิดขึ้นขณะที่ร่างกายต้องการอาหารก็ได้ ดังนั้น ถ้าคนเราไม่มีความหิวและความอยากกินเป็นเครื่องกระตุ้น ร่างกายจะไม่ได้รับอาหาร ร่างกายจึงมีกลไกควบคุมที่จะทำให้ร่างกายได้รับอาหารในอัตราส่วนที่เหมาะสม ได้แก่

1. ควบคุมการดูดซึมอาหารที่กินเข้าไป
2. ควบคุมการขับถ่ายกากอาหารและของเสียออกจากร่างกาย
3. ควบคุมการเปลี่ยนแปลงสารอาหารต่าง ๆ ภายในเซลล์

ความหิว ความอิ่ม และความอยากกิน

ความหิว เป็นสัญญาณที่กระตุ้นให้เกิดการกินอาหาร เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาของร่างกาย เมื่อจำนวนสารอาหารหรือพลังงานที่มีอยู่ในร่างกายลดน้อยลง หรือเกิดจากการที่ร่างกายไม่ได้รับอาหารชั่วระยะเวลาหนึ่ง ความหิวจะกระตุ้นให้คนหรือสัตว์ออกไปหาอาหารกิน หรือต่อสู้เพื่อให้ได้อาหารมากิน เพื่อที่จะได้สามารถดำรงชีวิตต่อไป เรียกว่า hunger behavior ความหิวจะเกิดขึ้นช้าหรือเร็วขึ้นอยู่กับปัจจัยต่อไปนี้

1. ระยะเวลาที่ไม่ได้รับอาหารเข้าไป
2. ปริมาณอาหารที่ได้รับครั้งสุดท้าย
3. อัตราการใช้พลังงานของร่างกาย

ความหิวจะเริ่มเกิดขึ้นที่บริเวณกระเพาะอาหาร ทำให้รู้สึกหงุดหงิด อ่อนเพลีย กระสับกระส่าย ท้องร้องหรือมีเสียงดังภายในกระเพาะอาหาร อาการดังกล่าวมักจะหายไปเมื่อได้ดื่มน้ำ หรือกินอาหารเข้าไปเพียงเล็กน้อย ความหิวจะกระตุ้นให้กินอาหารได้โดยไม่เลือกชนิดและปริมาณของอาหาร เมื่อคนมีความหิวมักจะถามว่า **“มีอะไรกินบ้าง?”** นั่นคือ สามารถที่จะกินอาหารได้ทุกชนิด และเมื่อได้ตอบสนองความหิวแล้วจะเกิดความอิ่ม

ความอิ่ม เป็นความรู้สึกที่เกิดขึ้นภายหลังจากได้กินอาหารแล้ว ส่วนต่าง ๆ ของระบบทางเดินอาหารและกระเพาะอาหารมีอาหารบรรจุอยู่เต็ม เป็นความรู้สึกที่กระตุ้นให้หยุดกินอาหาร เพราะได้ตอบสนองความหิวแล้ว

ความอยากกิน เป็นความรู้สึกหิวชนิดหนึ่ง เมื่อมีความอยากกินเกิดขึ้นจะต้องมีการเลือกชนิดของอาหารที่จะกิน หรือคาดหวังว่าจะได้กินสิ่งที่ต้องการ ดังนั้น คนที่มีความอยากกินมักจะถามว่า **“อยากกินอะไรดี?”** เป็นการเลือกกินอาหารชนิดหนึ่งชนิดใดโดยเฉพาะ และมักจะแสดงออกถึงความพอใจต่ออาหารที่จะกิน หรือจะเลือกกินอาหารที่อร่อย มีรสชาติถูกปาก ความอยากกินเกิดขึ้นจากประสบการณ์ของการกินอาหารที่ผ่านมาในอดีต มีความสัมพันธ์กับชนิดของอาหารที่เคยได้กินมาแล้ว เป็นเรื่องของความรู้สึกที่เกี่ยวข้องกับรสชาติของอาหาร เช่น บางคนชอบกินอาหารที่มีรสหวาน บางคนชอบกินอาหารที่มีรสเค็ม ถ้าเกิดความอยากกินจะกินอาหารได้มากกว่าปกติ และเกิดขึ้นได้โดยไม่จำเป็นต้องมีความหิว คือ