



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สรีรวิทยาทางการแพทย์ ระบบทางเดินอาหาร

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 3



อัญญาณี บัวแก้ว ปุษบงกต

หนังสือที่ได้รับทุนสนับสนุนการเขียนตำราจากมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ พ.ศ. 2558

สารบัญ

	หน้า
สารบัญรูป	(8)
สารบัญตาราง	(10)
คำนำ	(11)
บทที่ 1 บทนำและภาพรวมของระบบทางเดินอาหาร	1
(Introduction and Overview of the Gastrointestinal System)	
บทนำ	1
การแบ่งอวัยวะในทางเดินอาหาร	2
โครงสร้างของเนื้อเยื่อในทางเดินอาหาร	4
หน้าที่หลักของระบบทางเดินอาหาร	7
ระบบไหลเวียนเลือดในทางเดินอาหาร	8
การควบคุมการทำงานของระบบทางเดินอาหาร	11
เซลล์เยื่อบุทางเดินอาหารและการขนส่งสาร	26
สรุป	29
คำถามท้ายบท	30
เฉลย	33
เอกสารอ้างอิง	35
บทที่ 2 การเคลื่อนไหว (Motility)	37
บทนำ	37
เซลล์กล้ามเนื้อเรียบในทางเดินอาหาร	38
การเคลื่อนไหวในปาก	44
การเคลื่อนไหวในคอหอยและหลอดอาหาร	46
การเคลื่อนไหวในกระเพาะอาหาร	48
การเคลื่อนไหวในลำไส้เล็ก	53
การเคลื่อนไหวในลำไส้ใหญ่	56

	หน้า
สรุป	62
คำถามท้ายบท	64
เฉลย	67
เอกสารอ้างอิง	69
บทที่ 3 การให้สารคัดหลั่ง (Secretion)	71
บทนำ	71
การหลั่งน้ำลาย	72
การหลั่งน้ำย่อยในกระเพาะอาหาร	83
การหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อน	97
สรุป	106
คำถามท้ายบท	107
เฉลย	110
เอกสารอ้างอิง	112
บทที่ 4 การย่อยและการดูดซึมอาหาร (Digestion and Absorption)	113
บทนำ	113
การย่อยและการดูดซึมอาหารคาร์โบไฮเดรต	114
การย่อยและการดูดซึมอาหารโปรตีน	120
การย่อยและการดูดซึมอาหารไขมัน	125
การดูดซึมวิตามินและแร่ธาตุ	132
สรุป	142
คำถามท้ายบท	143
เฉลย	146
เอกสารอ้างอิง	148

	หน้า
บทที่ 5 การเคลื่อนของน้ำและอิเล็กโทรไลต์ในลำไส้	149
(Movement of Water and Electrolyte in the Intestine)	
บทนำ	149
ทบทวนโครงสร้างเนื้อเยื่อของลำไส้	150
ปริมาณน้ำในทางเดินอาหาร	150
กลไกการดูดซึมและการหลั่งสารในลำไส้	152
การเคลื่อนของไอออนที่สำคัญในทางเดินอาหาร	152
การควบคุมการขนส่งอิเล็กโทรไลต์ในลำไส้	169
สรุป	171
คำถามท้ายบท	172
เฉลย	175
เอกสารอ้างอิง	177
บทที่ 6 ตับและทางเดินน้ำดี (Hepatobiliary System)	179
บทนำ	179
โครงสร้างภายในของตับ	180
การทำหน้าที่ของตับ	187
ถุงน้ำดี	201
สรุป	205
คำถามท้ายบท	206
เฉลย	209
เอกสารอ้างอิง	211
ดัชนี (Index)	213

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1-1 อวัยวะของระบบทางเดินอาหาร	4
รูปที่ 1-2 โครงสร้างของเนื้อเยื่อในทางเดินอาหาร	6
รูปที่ 1-3 ระบบไหลเวียนเลือดสลับเปลี่ยนชนิดในทางเดินอาหาร	9
รูปที่ 1-4 การกระตุ้นการทำงานของระบบทางเดินอาหารจากโปรตีนทางเดินอาหาร	12
รูปที่ 1-5 ระบบประสาทอัตโนมัติในทางเดินอาหาร	14
รูปที่ 1-6 ประสาทพาราซิมพาเทติกที่มาควบคุมการทำงานของระบบทางเดินอาหาร	16
รูปที่ 1-7 ประสาทซิมพาเทติกที่มาควบคุมการทำงานของระบบทางเดินอาหาร	18
รูปที่ 1-8 ลักษณะของเซลล์เยื่อในทางเดินอาหาร การเรียกชื่อเยื่อหุ้มเซลล์ด้านต่างๆ รูปแบบการขนส่งสาร และโปรตีนขนส่งบนเยื่อหุ้มเซลล์	28
รูปที่ 2-1 โครงสร้างของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบในทางเดินอาหาร	39
รูปที่ 2-2 ศักย์ไฟฟ้าขณะพัก และศักย์ไฟฟ้าขณะทำงานของเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ ในทางเดินอาหาร และแรงในการหดตัวของกล้ามเนื้อเรียบ	42
รูปที่ 2-3 กลไกการกลืนในระยะเวลาเริ่มต้น (ก) ระยะในคอหอย (ข) และระยะในหลอดอาหาร (ค)	47
รูปที่ 2-4 โครงสร้างของกระเพาะอาหาร	49
รูปที่ 2-5 การเคลื่อนไหวของกระเพาะอาหาร	52
รูปที่ 2-6 การเคลื่อนไหวแบบคลุกเคล้าในลำไส้เล็ก	54
รูปที่ 2-7 การเคลื่อนไหวแบบบีบรัดในลำไส้เล็ก	55
รูปที่ 2-8 โครงสร้างของลำไส้ใหญ่	56
รูปที่ 2-9 การควบคุมการถ่ายอุจจาระโดยระบบประสาท	61
รูปที่ 3-1 โครงสร้างภายในของต่อมน้ำลาย	73
รูปที่ 3-2 การขนส่งสารและการควบคุมการทำงานของเซลล์ผลิตน้ำลาย	77
รูปที่ 3-3 กลไกการขนส่งไอออนที่เซลล์บุท่อส่งน้ำลาย	79

	หน้า
รูปที่ 3-4 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหลั่งน้ำลายกับความเข้มข้นของไอออนในน้ำลายเทียบกับพลาสมา	80
รูปที่ 3-5 เซลล์ต่างๆ ที่เป็นองค์ประกอบของต่อมในกระเพาะอาหาร	84
รูปที่ 3-6 กลไกการหลั่งกรดในเซลล์หลั่งกรด	86
รูปที่ 3-7 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหลั่งกรดและความเข้มข้นของไอออนต่างๆ	87
รูปที่ 3-8 กลไกการควบคุมการหลั่งกรดที่เซลล์หลั่งกรด	90
รูปที่ 3-9 แผนภาพแสดงการควบคุมการหลั่งกรดแบบย้อนกลับเชิงบวก	93
รูปที่ 3-10 แนวกันชนที่ทำหน้าที่ปกป้องผิวเยื่อบุกระเพาะอาหาร	95
รูปที่ 3-11 โครงสร้างของอะซินัสในตับอ่อน	98
รูปที่ 3-12 กลไกการขนส่งสารที่เซลล์บุท่อส่งน้ำย่อยในตับอ่อน	100
รูปที่ 3-13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการหลั่งน้ำย่อยจากตับอ่อนและความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในน้ำย่อยจากตับอ่อน	102
รูปที่ 4-1 โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต และการย่อยคาร์โบไฮเดรตโดยเอนไซม์แอมาลาอะไมเลส	115
รูปที่ 4-2 การย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก	118
รูปที่ 4-3 การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก	119
รูปที่ 4-4 การย่อยอาหารโปรตีนในลำไส้เล็ก	122
รูปที่ 4-5 การดูดซึมโปรตีนในลำไส้เล็ก	124
รูปที่ 4-6 การย่อยและการดูดซึมอาหารไขมันในลำไส้เล็ก	128
รูปที่ 4-7 การดูดซึมส่วนประกอบของน้ำดีที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียม	132
รูปที่ 4-8 กลไกการดูดซึมวิตามินบี12 ที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียม	135
รูปที่ 4-9 กลไกการดูดซึมแคลเซียมในลำไส้เล็ก	137
รูปที่ 4-10 กลไกการดูดซึมเหล็กในลำไส้เล็ก	141
รูปที่ 5-1 ปริมาณน้ำในทางเดินอาหารที่บริเวณต่างๆ	151
รูปที่ 5-2 กลไกการดูดซึมโซเดียมร่วมกับการดูดซึมสารอาหารที่ย่อยแล้ว	154
รูปที่ 5-3 กลไกการดูดซึมโซเดียมโดยการกระตุ้นจากความเป็นต่างในโพรงลำไส้เล็ก	155

	หน้า
รูปที่ 5-4 กลไกการดูดซึมโซเดียมโดยการขนส่งขนานกันของโปรตีนขนส่ง Na^+-H^+ exchanger และ $\text{Cl}^--\text{HCO}_3^-$ exchanger	156
รูปที่ 5-5 กลไกการดูดซึมโซเดียมผ่านช่องขนส่งโซเดียมที่ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย	157
รูปที่ 5-6 กลไกการดูดซึมคลอไรด์แบบไม่ใช้พลังงานที่ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย	158
รูปที่ 5-7 กลไกการดูดซึมคลอไรด์โดยการขนส่งแลกเปลี่ยนกับไบคาร์บอเนตที่ลำไส้เล็กส่วนไอเลียมและลำไส้ใหญ่ส่วนต้น	159
รูปที่ 5-8 กลไกการหลั่งคลอไรด์จากเซลล์เยื่อในครีปท์ของลำไส้เล็ก	162
รูปที่ 5-9 กลไกการหลั่งไบคาร์บอเนตจากเซลล์ในครีปท์ของลำไส้เล็ก	163
รูปที่ 5-10 กลไกการดูดซึมไบคาร์บอเนตในลำไส้เล็กส่วนเจจูนัม	164
รูปที่ 5-11 การดูดซึมโพแทสเซียมในลำไส้เล็กแบบไม่ใช้พลังงาน โดยกลไกโซลเวนต์แทรก	165
รูปที่ 5-12 กลไกการหลั่งโพแทสเซียมแบบไม่ใช้พลังงานที่ลำไส้ใหญ่ส่วนปลาย	166
รูปที่ 5-13 กลไกการหลั่งโพแทสเซียมแบบใช้พลังงานจากเซลล์ในครีปท์ของลำไส้ใหญ่	167
รูปที่ 5-14 กลไกการดูดซึมโพแทสเซียมแบบใช้พลังงานในลำไส้ใหญ่	168
รูปที่ 6-1 ตับและโครงสร้างภายในของตับ	180
รูปที่ 6-2 เซลล์ต่างๆ ที่อยู่ภายในตับ	181
รูปที่ 6-3 การแบ่งพื้นที่ของอะลูมิเนียมภายในตับออกเป็น 3 โซน	183
รูปที่ 6-4 ระบบเลือดไหลเวียนในตับ	185
รูปที่ 6-5 หน้าที่ของตับที่เกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต	188
รูปที่ 6-6 หน้าที่ของตับที่เกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของโปรตีน	192
รูปที่ 6-7 หน้าที่ของตับที่เกี่ยวกับเมแทบอลิซึมของไขมัน	194
รูปที่ 6-8 กลไกการทำให้น้ำดีเข้มข้นขึ้นโดยเซลล์เยื่อบุถุงน้ำดี	203
รูปที่ 6-9 วงจรการหมุนเวียนน้ำดีระหว่างตับกับลำไส้	204

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 ส่วนประกอบของน้ำลาย	74

คำนำ

ตำราสรีรวิทยาทางการแพทย์ระบบทางเดินอาหารเล่มนี้ เป็นส่วนหนึ่งของเนื้อหาในรายวิชา พศ. 214 ระบบทางเดินอาหารและโภชนาการ ที่จัดสอนให้กับนักศึกษาแพทย์ชั้นปีที่ 2 คณะแพทยศาสตร์ และรายวิชา พศ. 024 สรีรวิทยาของมนุษย์ ที่จัดสอนให้กับนักศึกษาคณะทันตแพทยศาสตร์ชั้นปีที่ 2 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ผู้เขียนได้รวบรวมเนื้อหาการทำงานของร่างกายในระบบทางเดินอาหาร นับตั้งแต่โครงสร้างการทำงานและการทำหน้าที่ โดยจำแนกเป็นด้านต่างๆ ผู้เขียนได้สอดแทรกความรู้เชื่อมโยงทางคลินิกเข้าไปในเนื้อหาในแต่ละบท เพื่อให้ผู้อ่านได้เห็นความสำคัญและการนำไปใช้ รูปภาพในหนังสือเล่มนี้ได้วาดขึ้นมาใหม่ทั้งหมด และเขียนคำอธิบายเป็นภาษาอังกฤษ เพื่อให้สั้น กระชับ และเข้าใจง่าย

ผู้เขียนขอขอบคุณสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ได้เอื้อเพื่อจัดพิมพ์ตำราเล่มนี้เพื่อเผยแพร่เป็นครั้งที่ 3 และขอขอบคุณครูบาอาจารย์ทุกท่านที่ได้ให้ความรู้และกล่อมเกลาสั่งสอนให้กับผู้เขียนนับจากเยาว์วัยจนจบจนปัจจุบันนี้ ขออวยพร ความดีอันจะพึงมีจากตำราเล่มนี้จงบันดาลถึงมารดาบิดาผู้มีพระคุณอย่างสูงยิ่ง และครูสรีรวิทยาจากมหาวิทยาลัยมหิดลทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้และมุมมองทางวิชาการ ผู้เขียนสวดภาวนาว่าผลงานสร้างสรรค์งานวิชาการได้

อัญญาณี บัวแก้ว ปุษบงกต



4

การย่อยและการดูดซึมอาหาร (Digestion and Absorption)

บทนำ

การย่อยอาหารในร่างกายของคนเราคือ กระบวนการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของสารอาหารที่อยู่ในรูปโมเลกุลขนาดใหญ่ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้อยู่ในรูปโมเลกุลขนาดเล็กลง จนกลไกการดูดซึมในทางเดินอาหารสามารถขนส่งเข้าเซลล์ได้ การย่อยอาหารเริ่มต้นที่ในปาก บางส่วนเกิดในกระเพาะอาหาร การย่อยที่สมบูรณ์เกิดในลำไส้เล็กโดยอาศัยน้ำย่อยจากตับ ตับอ่อน รวมทั้งน้ำย่อยในลำไส้เล็กเอง อาหารโปรตีนและคาร์โบไฮเดรตบางส่วนที่ไม่ถูกย่อยในลำไส้เล็ก จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ของแบคทีเรียในลำไส้ใหญ่ ได้เป็นกรดไขมันสายสั้น (short chain fatty acid) ที่เซลล์เยื่อบุลำไส้ใหญ่สามารถดูดซึมไปใช้ ในกระบวนการเมแทบอลิซึมของเซลล์ได้



การย่อยและการดูดซึมอาหารคาร์โบไฮเดรต

ส่วนประกอบของอาหารคาร์โบไฮเดรต

อาหารคาร์โบไฮเดรตเป็นอาหารหลักที่เราบริโภคเพื่อเป็นพลังงาน ร่างกายมีความต้องการคาร์โบไฮเดรตคิดเป็นร้อยละ 45 ของความต้องการพลังงานของร่างกาย อาหารคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่อยู่ในรูปแป้งจากพืช (starch) แป้งจากสัตว์หรือไกลโคเจน (glycogen) น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharide) เซลลูโลส ส่วนน้อยอยู่ในรูปน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว (monosaccharide) อาหารคาร์โบไฮเดรตแบ่งเป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้

1. **แป้ง** มีโครงสร้างทางเคมีที่ประกอบด้วย หน่วยของน้ำตาลกลูโคสต่อกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก (glycosidic bond) เป็นสายยาว และมีการแตกกิ่งออกไปเป็นแขนง โครงสร้างของแป้งประกอบด้วย อะไมโลเพคติน (amylopectin) และอะไมโลส (amylose)

- อะไมโลเพคติน คือหน่วยของน้ำตาลกลูโคสที่เรียงต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ 1-4 แอลฟา (1-4 α) และมีการแตกกิ่งออกไปเป็นแขนงๆ บริเวณที่แตกกิ่งต่อกับสายตรงด้วยพันธะ 1-6 แอลฟา (1-6 α) อะไมโลเพคตินเป็นส่วนประกอบของแป้งร้อยละ 60-80

- อะไมโลส คือโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสต่อกันเป็นสายตรงด้วยพันธะ 1-4 แอลฟา เพียงอย่างเดียว ไม่มีการแตกกิ่ง

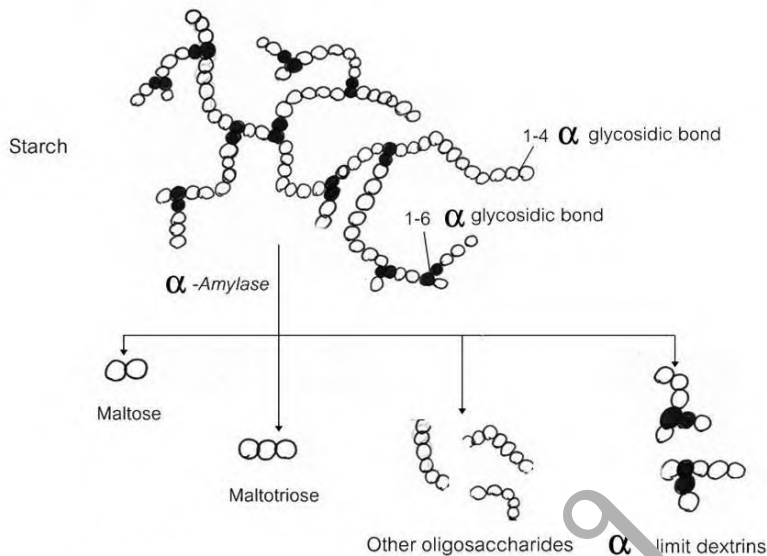
- ไกลโคเจน คือแป้ง พบในสัตว์ ลักษณะโครงสร้างคล้ายกับอะไมโลเพคติน แต่มีการแตกกิ่งออกไปมากกว่า

2. **น้ำตาลโมเลกุลคู่** พบในอาหารได้แก่ ทรีฮาโลส (trehalose) ซูโครส (sucrose) หรือน้ำตาลทราย และแล็กโทส (lactose) พบประมาณร้อยละ 30-40 ของอาหารคาร์โบไฮเดรตที่รับประทาน

- ทรีฮาโลส คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยกลูโคส 2 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะ 1-1 แอลฟา (1-1 α) พบในแมลง สัตว์ร้าย เห็ด และราบางชนิด

- ซูโครส คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยกลูโคส 1 โมเลกุล และฟรักโทส 1 โมเลกุล ต่อกันด้วยพันธะแอลฟา 1-2 บีตา (α 1-2 β) พบมากในพืช เช่น อ้อย และหัวบีทรูท (beet root)

- แล็กโทส คือน้ำตาลโมเลกุลคู่ที่ประกอบด้วยกลูโคส 1 โมเลกุล และกาแล็กโทส (galactose) 1 โมเลกุลต่อกันด้วยพันธะ 1-4 บีตา (1-4 β) พบในนมและผลิตภัณฑ์จากนม



รูปที่ 4-1 โครงสร้างของคาร์โบไฮเดรต และการย่อยคาร์โบไฮเดรต โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส

อธิบาย: คาร์โบไฮเดรตประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลกลูโคสเชื่อมกันด้วยพันธะไกลโคซิดิก บริเวณสายตรงต่อกันด้วยพันธะ 1-4 แอลฟา (1-4 α glycosidic bond) บริเวณแตกกิ่งต่อกันด้วยพันธะ 1-6 แอลฟา (1-6 α glycosidic bond) เอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ช่วยแบ่ง (starch) ได้แอลฟาลิมิตเดกซ์ตริน (α -limit dextrins) มอลโทไตรโอส (maltotriose) มอลโทส (maltose) และโอลิโกแซ็กคาไรด์ขนาดเล็ก (other oligosaccharides)

3. น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว พบบ่อยในอาหารได้แก่ กลูโคส ฟรักโทส เป็นสารที่ให้รสหวานจากธรรมชาติ เช่น น้ำผึ้ง ผัก และผลไม้ พบประมาณร้อยละ 5-10 ของอาหารคาร์โบไฮเดรตที่รับประทาน

ลำไส้เล็กสามารถดูดซึมได้เฉพาะน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวเท่านั้น ดังนั้นอาหารคาร์โบไฮเดรตที่รับประทานเข้าไป จึงต้องถูกย่อยให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนการดูดซึม ส่วนลำไส้ใหญ่ไม่มีการดูดซึมน้ำตาล

4. เส้นใย (fiber) ได้แก่ เซลลูโลส ลิกนิน (lignin) และเพคติน (pectin) เป็นกากใยที่พบในผัก ผลไม้ และธัญพืช เซลลูโลสประกอบด้วยโมเลกุลของกลูโคสต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ 1-4 ปีตา ไม่สามารถถูกย่อยด้วยเอนไซม์ในทางเดินอาหารของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม แต่ถูกย่อยสลายโดยเอนไซม์ของแบคทีเรียที่อาศัยอยู่ในลำไส้ใหญ่

อาหารคาร์โบไฮเดรตที่ได้จากสัตว์มีน้อย ยกเว้นมีไกลโคเจนบ้างเล็กน้อย ส่วนใหญ่คือน้ำตาลกาแล็กโทสที่ได้จากนมและผลิตภัณฑ์จากนม

เมื่อแบ่งที่ประกอบด้วยหน่วยของน้ำตาลต่อกันเป็นสายยาวและน้ำตาลโมเลกุลคู่ผ่านเข้าสู่ทางเดินอาหาร จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวโดยเอนไซม์ไกลโคซิเดส (glycosidase) ที่ทำหน้าที่สลายพันธะไกลโคซิดิก ระหว่างโมเลกุลของน้ำตาลบนสายของน้ำตาลสายยาว เอนไซม์กลุ่มนี้มีความจำเพาะต่อชนิดของน้ำตาล ชนิดของพันธะไกลโคซิดิก (แอลฟาหรือบีตา) และจำนวนหน่วยของน้ำตาลบนสายด้วย เอนไซม์ไกลโคซิเดสจะย่อยแบ่งจนได้น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนที่จะถูกดูดซึมต่อไป

ขั้นตอนการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรต

1. การย่อยคาร์โบไฮเดรตในโพรงทางเดินอาหาร

เป็นการย่อยแบ่งให้ได้น้ำตาลสายสั้นลง โดยเอนไซม์อะไมเลสจากต่อมน้ำลายและตับอ่อน เกิดในปากและลำไส้เล็ก เอนไซม์อะไมเลสจากทั้งสองแหล่งทำงานเหมือนกัน เนื่องจากมีลำดับกรดอะมิโนในสายเปปไทด์เหมือนกันถึงร้อยละ 94

1.1 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในปาก คือการย่อยแบ่งที่เป็นอาหารคาร์โบไฮเดรตส่วนใหญ่ที่เรบริโกล โดยอาศัยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลสจากต่อมน้ำลาย เอนไซม์นี้ทำหน้าที่ได้ดีที่พีเอช 6.7 เร่งปฏิกิริยาการสลายพันธะ 1-4 แอลฟา ที่อยู่ด้านในของสายน้ำตาลในโมเลกุลแบ่งได้น้ำตาลสายสั้นลง แต่เนื่องจากเอนไซม์อะไมเลสไม่สามารถสลายพันธะ 1-6 แอลฟาที่บริเวณแตกกิ่ง และไม่สามารถสลายพันธะ 1-4 แอลฟาที่บริเวณส่วนปลายได้ ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการย่อยจึงยังไม่สามารถดูดซึมได้ ได้แก่ น้ำตาลสายสั้นๆ (oligosaccharide) มอลโทส มอลโทไตรโอส (maltotriose: มีกลูโคส 3 หน่วยต่อกันด้วยพันธะ 1-4 แอลฟา) และแอลฟาลิมิตเดกซ์ตริน (α -limit dextrin: เป็นสายกลูโคสที่มีแขนงแตกกิ่งขนาดเล็กที่สุด ประกอบด้วยกลูโคสประมาณ 8 หน่วย) เมื่ออาหารเคลื่อนจากปากลงสู่กระเพาะอาหารส่วนต้น การย่อยแบ่งจะยังคงดำเนินต่อไปได้อีกระยะหนึ่ง เนื่องจากเอนไซม์จากต่อมน้ำลายยังไม่สัมผัสกับกรดในกระเพาะอาหาร และมีน้ำตาลสายสั้นๆ บางส่วนป้องกันกรดไว้ เมื่อกระเพาะอาหารบีบตัวขับอาหารลงสู่ส่วนกลาง อาหารจะสัมผัสกับกรดการย่อยแบ่งจึงหยุดลง (รูปที่ 4-1)

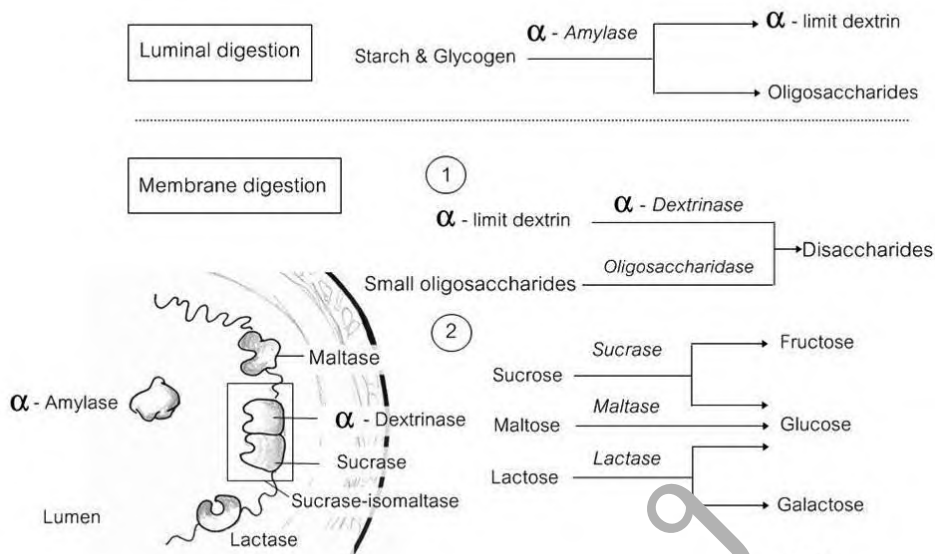
1.2 การย่อยคาร์โบไฮเดรตในโพรงลำไส้เล็ก การย่อยที่บริเวณนี้อาศัยการทำงานของเอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อน สามารถย่อยแบ่งได้ผลผลิตเดียวกันกับ เอนไซม์อะไมเลสจากต่อมน้ำลายแต่ออกฤทธิ์ได้ดีกว่า พบมากที่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม เอนไซม์อะไมเลสจากตับอ่อนทำงานได้ดีที่พีเอชเป็นกลางหรือด่าง พบว่าเพียง 10 นาทีที่อาหารคาร์โบไฮเดรตเข้าสู่ลำไส้เล็ก จะถูกเปลี่ยนเป็นน้ำตาลมอลโทสเกือบหมด

2. การย่อยคาร์โบไฮเดรตที่บริเวณไมโครวิลไล

หลังจากเอนไซม์อะไมเลสย่อยโมเลกุลที่ซับซ้อนของแป้ง ได้เป็นน้ำตาลสายสั้นลงแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกย่อยต่อ โดยเอนไซม์โอลิโกแซ็กคาไรเดส (oligosaccharidase) ที่เกาะอยู่ที่ไมโครวิลไลของผนังลำไส้เล็ก ผลผลิตที่ได้จากการย่อยครั้งนี้จะถูกดูดซึมเข้าสู่เซลล์เยื่อบุลำไส้เล็กต่อไป เอนไซม์โอลิโกแซ็กคาไรเดสในลำไส้ของมนุษย์มี 3 ชนิด ได้แก่ แล็กเทส (lactase) กลูโคอะไมเลส (glucoamylase) หรือมอลเทส (maltase) และซูเครสไอโซมอลเทส (sucrase-isomaltase) เอนไซม์เหล่านี้เป็นโปรตีนที่แทรกอยู่ในผนังเซลล์เยื่อบุลำไส้เล็ก โดยมีส่วนทำงาน (catalytic domain) ยื่นเข้าสู่โพรงลำไส้ ซูเครสไอโซมอลเทสประกอบด้วยเอนไซม์ 2 ชนิดอยู่ติดกันคือ ซูเครสและไอโซมอลเทสหรืออีกชื่อหนึ่งคือ แอลฟาเดกซ์ทรีเนส (α -dextrinase หรือ debranching enzyme) เอนไซม์ทั้งหมดนี้ตัดพันธะ 1-4 แอลฟา ที่ส่วนปลายของสายแป้ง แอลมอลโทส มอลโทไตรโอส และแอลฟาลิมิตเดกซ์ทรีน ส่วนเอนไซม์แอลฟาเดกซ์ทรีเนสที่ตัดพันธะ 1-6 แอลฟาที่บริเวณแตกกิ่งของสายแอลฟาลิมิตเดกซ์ทรีน เพื่อให้เอนไซม์อื่นเข้ามาย่อยสายตรงต่อได้ เอนไซม์โอลิโกแซ็กคาไรเดสทำงานได้ดี ที่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัมและส่วนต้นของเจจุนัม การทำงานจะค่อยๆ ลดลงในส่วนที่เหลือของลำไส้เล็ก นอกจากนี้ยังมีเอนไซม์ไดแซ็กคาไรเดส (disaccharidase) ที่เกาะอยู่ที่เยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่ย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ให้เป็นน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวก่อนถูกดูดซึม ได้แก่ ซูเครส แล็กเทส ทรีฮาเลส (trehalase) และมอลเทส ดังนี้

ซูโครส	ซูเครส	→	กลูโคส + ฟรุคโทส
แล็กโทส	แล็กเทส	→	กลูโคส + กาแล็กโทส
ทรีฮาเลส	ทรีฮาเลส	→	กลูโคส + กลูโคส
มอลโทส	มอลเทส	→	กลูโคส + กลูโคส

อัตราการเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ซูเครสไอโซมอลเทส เร็วกว่าอัตราการขนส่งน้ำตาลเข้าเซลล์ ดังนั้นข้อจำกัดจึงอยู่ที่การดูดซึมไม่ใช่การย่อย เอนไซม์โอลิโกแซ็กคาไรเดสกระจายตัวแตกต่างกันไปในแต่ละบริเวณของลำไส้เล็ก และสัมพันธ์กับการกระจายตัวของโปรตีนขนส่งน้ำตาลเข้าสู่เซลล์ บริเวณที่มีอยู่มากคือส่วนดูโอดินัมและส่วนต้นของเจจุนัม ที่บริเวณส่วนปลายของไอเลียมมีเอนไซม์น้อย และไม่พบการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้ในลำไส้ใหญ่ การแสดงออกของเอนไซม์ได้รับอิทธิพลจากวิวัฒนาการ และปัจจัยทางด้านอาหารในหลายแง่ พบว่าการทำงานของเอนไซม์แล็กเทส จะลดลงหลังจากหย่านมมารดา โดยพบแตกต่างกันไปตามพันธุกรรม ส่วนเอนไซม์อื่นๆ ไม่ได้ลดลงในระยะหลังคลอด



รูปที่ 4-2 การย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรตในลำไส้เล็ก

อธิบาย: 1. การย่อยในโพรงลำไส้เล็ก (luminal digestion) โดยเอนไซม์แอลฟาอะไมเลส (α -amylase) ได้แอลฟาไลมิตเดกซ์ตริน (α -limit dextrin) และโอลิโกแซ็กคาไรด์ (oligosaccharides) 2. การย่อยที่ไมโครวิลไล (membrane digestion) โดยเอนไซม์แอลฟาเดกซ์ทรินาส (α -dextrinase) และเอนไซม์โอลิโกแซ็กคาไรเดส (oligosaccharidase) ได้น้ำตาลโมเลกุลคู่ (disaccharides) และการย่อยน้ำตาลโมเลกุลคู่ก่อนการดูดซึมโดยเอนไซม์ซูเครส (sucrase) มอลเทส (maltase) และแล็กเทส (lactase) ได้น้ำตาลฟรุกโทส (fructose) กลูโคส (glucose) และกาแล็กโทส (galactose)

การดูดซึมคาร์โบไฮเดรต

น้ำตาลโมเลกุลเดี่ยวที่เป็นผลผลิตจากการย่อยอาหารคาร์โบไฮเดรต ถูกดูดซึมในลำไส้เล็ก โดยกระบวนการขนส่ง 2 ขั้นตอน คือ

1. การขนส่งน้ำตาลจากโพรงลำไส้เข้าสู่เซลล์เยื่อบุลำไส้เล็ก

การดูดซึมคาร์โบไฮเดรตเกิดมากที่สุดที่ลำไส้เล็กส่วนดูโอดินัม และส่วนต้นของเจจุนัม เซลล์เยื่อบุลำไส้บริเวณดังกล่าว มีโปรตีนจำเพาะต่อการขนส่งน้ำตาลโมเลกุลเดี่ยว น้ำตาลกลูโคส และน้ำตาลกาแล็กโทส ถูกขนส่งเข้าเซลล์ร่วมกับโซเดียม ผ่านโปรตีนขนส่งชนิดเดียวกันคือ SGLT1 ทั้งน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแล็กโทส จะแย่งกันจับกับโปรตีนขนส่งที่ตำแหน่งสำคัญ เพื่อเข้าเซลล์ร่วมกับโซเดียม โดยการขนส่งน้ำตาลร่วมกับโซเดียมในอัตราส่วน 1: 2 การดูดซึมน้ำตาลกลูโคสและน้ำตาลกาแล็กโทส ถูกกระตุ้นด้วยปริมาณโซเดียมที่อยู่ในโพรงลำไส้บริเวณใกล้เคียง กับไมโครวิลไล ความ

สรีรวิทยาทางการแพทย์ระบบทางเดินอาหาร

ระบบทางเดินอาหาร เป็นโครงสร้างที่เป็นท่อยาว มีรูเปิด 2 ด้าน แทรกอยู่ภายในร่างกายของเรา อาหารที่เรารับประทานเข้าไปส่วนใหญ่อยู่ในรูปโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งเซลล์ของร่างกายไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ทันที ระบบทางเดินอาหารทำหน้าที่ย่อยโครงสร้างทางเคมีของสารอาหารชนิดต่างๆ เช่น คาร์โบไฮเดรต โปรตีน และไขมัน ให้มีขนาดเล็กลง สามารถขนส่งไปตามกระแสเลือด และหลอดน้ำเหลือง เพื่อนำไปหล่อเลี้ยงเซลล์ทั่วร่างกายได้ นอกจากทำหน้าที่ย่อยและดูดซึมอาหารแล้ว ระบบทางเดินอาหารยังทำหน้าที่ดูดซึมวิตามิน เกลือแร่ และรักษาดุลน้ำของร่างกาย เนื่องจากเป็นท่อที่มีรูเปิดออกสู่ภายนอกร่างกาย สิ่งที่ย่อยอยู่ในทางเดินอาหารจึงถือว่าเป็นสิ่งแปลกปลอมภายนอกในร่างกายด้วย ระบบทางเดินอาหารจึงเป็นที่อยู่ของเซลล์ในระบบภูมิคุ้มกัน ที่กีดกันเนื้อเยื่อน้ำเหลืองขนาดใหญ่ ทำหน้าที่ช่วยคัดกรองสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย รวมทั้งอาหาร เช่น จุลชีพชนิดต่างๆ ระบบทางเดินอาหารยังมีความสำคัญในการเป็นแหล่งพึ่งของเกลือแร่กับน้ำดี เช่น โลหะหนัก และสารเคมีที่ไม่ละลายน้ำบางชนิด และยังทำหน้าที่เสมือนเป็นตู้มรีไซเคิล ระบบทางเดินอาหารยังเป็นที่อยู่ของแบคทีเรีย ที่สร้างระบบนิเวศแบบพึ่งพากับมนุษย์ ช่วยสร้างสมดุลให้กับร่างกายอีกด้วย

อัญญาณี บัวแก้ว ปุษบงกต

- พยาบาลศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ พ.ศ. 2534
- วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (สรีรวิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2538
- ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (สรีรวิทยา) มหาวิทยาลัยมหิดล พ.ศ. 2548

ปัจจุบันดำรงตำแหน่งรองศาสตราจารย์ สาขาสรีรวิทยา สถานวิทยาศาสตร์พรีคลินิก
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ISBN 978-616-602-167-7



9 786166 021677

ราคา 300 บาท
หมวดแพทยศาสตร์