



สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาวะร่างกายของร่างกายมนุษย์ และสารสื่อประสาทในสมอง

Homeostasis of the Human Body and
Neurotransmitter in the Brain

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2



ดร.ปริศนา ปิยะพันธุ์

ภาวะธำรงดุลของร่างกายมนุษย์

และสารสื่อประสาทในสมอง

Homeostasis of the Human Body and Neurotransmitter in the Brain



ถ่ายเอกสารแทนการใช้หนังสือ
คือการทำลายภูมิปัญญาสร้างสรรค์

**ภาวะธำรงดุลของร่างกายมนุษย์
และสารสื่อประสาทในสมอง**

Homeostasis of the Human Body and Neurotransmitter in the Brain

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2

**ดร.ปริศนา ปิยะพันธุ์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์**

สาขาชีววิทยา สถานวิทยาศาสตร์พรีคลินิก
คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

2564

ปริศนา ปิยะพันธุ์.

ภาวะธำรงดุลของร่างกายมนุษย์และสารสื่อประสาทในสมอง = Homeostasis of the Human Body and Neurotransmitter in the Brain.

1. ภาวะธำรงดุล. 2. ระบบประสาทอัตโนมัติ. 3. สารส่งผ่านประสาท.

QT120

ISBN 978-616-314-757-8

ISBN (E-BOOK) 978-616-314-761-5

ลิขสิทธิ์ของผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริศนา ปิยะพันธุ์
สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน 2564

จำนวน 30 เล่ม

ฉบับอิเล็กทรอนิกส์ (e-book) เดือนกันยายน 2564

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดยสำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโคมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

<http://thammasatpress.tu.ac.th>, e-mail: unipress@tu.ac.th

พิมพ์ที่โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ภาพประกอบโดย อาภัสสรา สมตน

ศุภชัย สังขทัต ณ อยู่ธยา

สิขรินทร์ สังขทัต ณ อยู่ธยา

พิมพ์ครั้งที่ 1 เดือนมกราคม 2564 จำนวน 30 เล่ม

พิมพ์ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน 2564 จำนวน 30 เล่ม

ราคาเล่มละ 560.- บาท

สารบัญ

สารบัญรูป	(9)
สารบัญตาราง	(13)
คำนำ	(15)

บทที่ 1 หลักของภาวะธำรงดุล

(Principle of Homeostasis)	1
การจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกาย	2
น้ำในร่างกาย	5
ความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวภายในเซลล์และของเหลวนอกเซลล์	6
ตัวแปรที่ถูกควบคุมและระบบการควบคุมภาวะธำรงดุลของร่างกาย	8
กลไกการควบคุมภาวะธำรงดุลของร่างกาย	10
1. Response loop	10
2. Feedback loop	13
รูปแบบของการส่งสัญญาณภายในระบบควบคุมภาวะธำรงดุลของร่างกาย	21
1. Local control	21
2. Reflex control (Long-distance control)	22
สรุปหลักการ	22
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	23
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 1	25
เอกสารอ้างอิง	26

บทที่ 2 การรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกายโดยระบบประสาทอัตโนมัติ

(Regulation of Homeostasis by Autonomic Nervous System)	27
ชนิดของระบบประสาท	28
ระบบประสาทอัตโนมัติ	29
1. ชนิดของระบบประสาทอัตโนมัติ	30
2. สารสื่อประสาทในระบบประสาทอัตโนมัติ	39
3. ตัวรับในระบบประสาทอัตโนมัติ	43

ผลของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกต่ออวัยวะต่าง ๆ	
เพื่อรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกาย	49
1. รูม่านตา	49
2. ต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อเรียบ และหลอดเลือดบริเวณผิวหนัง และกล้ามเนื้อแขนขา	50
3. หัวใจและปอด	51
4. อวัยวะในช่องท้อง	52
5. อวัยวะในอุ้งเชิงกราน	53
6. กระเพาะปัสสาวะและการขับถ่ายปัสสาวะ	55
ความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติ	57
บทบาทของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกในการควบคุมรีเฟล็กซ์ของอวัยวะภายใน	58
ทางเดินประสาทขาเข้าของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก	58
บทบาทของระบบประสาทซิมพาเทติกในการเกิดความเจ็บปวดนอกบริเวณพยาธิสภาพ	60
ศูนย์กลางการควบคุม visceral reflex และ autonomic reflex ในสมอง	62
ตัวอย่างของการรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกายโดยระบบประสาทอัตโนมัติ	63
สรุปหลักการ	65
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	67
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 2	69
เอกสารอ้างอิง	70

บทที่ 3 สารสื่อประสาทในสมอง

(Neurotransmitter in the Brain)	71
นิยามของสารสื่อประสาท	72
โดพามีน	72
1. การสร้างโดพามีนในสมอง	72
2. วงจรโดพามีน	73
3. บทบาทของโดพามีนต่อภาวะธำรงดุลของสมอง	73

เซโรโตนิน	76
1. การสร้างเซโรโตนินในสมอง	76
2. วงจรเซโรโตนิน	78
3. บทบาทของเซโรโตนินต่อภาวะข้างดุลของสมอง	79
อะเซทิลโคลีน	80
1. การสร้างอะเซทิลโคลีนในสมอง	80
2. วงจรอะเซทิลโคลีน	82
3. บทบาทของอะเซทิลโคลีนต่อภาวะข้างดุลของสมอง	82
นอร์เอพิเนฟริน	83
1. การสร้างนอร์เอพิเนฟรินในสมอง	83
2. วงจรนอร์เอพิเนฟริน	83
3. บทบาทของนอร์เอพิเนฟรินต่อภาวะข้างดุลของสมอง	85
หน้าที่ของเปลือกสมองใหญ่และบทบาทของสารสื่อประสาทในสมอง	
ต่อความรู้สึกตัวและวงจรการหลับ/ตื่น	86
1. หน้าที่ของเปลือกสมองใหญ่	86
2. ความรู้สึกตัว	91
3. คลื่นไฟฟ้าสมอง	91
4. การทำงานของก้านสมองในการควบคุมความรู้สึกตัว	93
5. วงจรการหลับ/ตื่น	97
การเปลี่ยนแปลงของสมอง สารสื่อประสาทและวงจรการหลับตื่นในวัยสูงอายุ	102
1. การเปลี่ยนแปลงของสารสื่อประสาทในสมองและระบบประสาท	
ที่มีผลต่อการนอนหลับในผู้สูงอายุ	104
ความผิดปกติของความจำในวัยสูงอายุ	105
สรุปหลักการ	106
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	107
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 3	109
เอกสารอ้างอิง	110

บทที่ 4 โรคจิตเวชที่เกิดจากความผิดปกติของภาวะธำรงดุลของสารสื่อประสาทในสมอง (Psychological Disorders in Abnormal Homeostasis of Neurotransmitters in the Brain)	111
โรคทางจิตเวชที่มีสาเหตุจากสารสื่อประสาทในสมองไม่สมดุล	112
1. โรคอารมณ์ผิดปกติ	112
2. โรคจิตเภท	117
สรุปหลักการ	127
แบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	129
เฉลยแบบฝึกหัดท้ายบทที่ 4	130
เอกสารอ้างอิง	131
 บทที่ 5 งานวิจัยผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิในการรักษาสมดุลของสารสื่อประสาท ในสมองของหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีอาการของโรคจิตเภท	 135
การเหนี่ยวนำให้หนูขาวเกิดอาการของโรคจิตเภท	137
1. การได้รับ Phencyclidine	137
2. การได้รับแอมเฟตามีน	137
3. การแยกหนูให้อยู่ลำพังตั้งแต่ยังไม่หย่านม	138
การทดสอบอาการของโรคจิตเภทในหนูขาว	138
1. Prepulse inhibition test	138
2. Novel object recognition test	139
ผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิในการรักษาอาการของโรคจิตเภทในหนูขาว	141
1. พรมมิคืออะไร	141
2. ผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิต่อตัวรับชนิด N-methyl-D-aspartate (NMDA) receptor	142
3. ผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิต่อโปรตีนตัวพาชนิด Vesicular glutamate transporter ชนิดย่อยที่ 1-3 (VGLUT1-3)	144
4. ผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิต่อ GABAergic neurons	146
สรุปหลักการ	150
เอกสารอ้างอิง	151

สารบัญรูป

รูปที่ 1.1	การจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกาย	3
รูปที่ 1.2	น้ำในร่างกาย	6
รูปที่ 1.3	ความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวภายในเซลล์ (ICF) และของเหลวนอกเซลล์ (ECF)	7
รูปที่ 1.4	กลไกการควบคุมร่างกายให้อยู่ในภาวะธำรงดุล	11
รูปที่ 1.5	Control system ประกอบด้วย response loop และ feedback loop	11
รูปที่ 1.6	Response loop	12
รูปที่ 1.7	Negative feedback	13
รูปที่ 1.8	การควบคุมอุณหภูมิกาย	14
รูปที่ 1.9	การควบคุมความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือด	15
รูปที่ 1.10	องค์ประกอบของ response loop ในการควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในค่าปกติ	16
รูปที่ 1.11	การควบคุมความดันโลหิตในกรณีที่ความดันโลหิตต่ำกว่าค่าปกติ	17
รูปที่ 1.12	สรุปกลไกการควบคุมอุณหภูมิกายขณะออกกำลังกาย	18
รูปที่ 1.13	Positive feedback	19
รูปที่ 1.14	Positive feedback ที่เกิดขึ้นขณะคลอดบุตร	20
รูปที่ 1.15	Paracrine secretion	21
รูปที่ 2.1	Two-neuron motor pathway ในทางเดินประสาทขาออกของระบบประสาทอัตโนมัติ	31
รูปที่ 2.2	เปรียบเทียบทางเดินประสาทขาออกระหว่างระบบประสาทอัตโนมัติและระบบประสาทมอเตอร์	32
รูปที่ 2.3	ทางเดินประสาทขาออกและอวัยวะเป้าหมายของระบบประสาทซิมพาเทติก	32
รูปที่ 2.4	ทางเดินประสาทขาออกและอวัยวะเป้าหมายของระบบประสาทพาราซิมพาเทติก	33
รูปที่ 2.5	เปรียบเทียบทางเดินประสาทขาออกของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกและซิมพาเทติก	34

รูปที่ 2.6	การทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติกแบบ antagonistic control	36
รูปที่ 2.7	สารสื่อประสาทและตัวรับในทางเดินระบบประสาทซิมพาเทติก และพาราซิมพาเทติก	40
รูปที่ 2.8	(ก) ต่อมหวมกไต (ข) chromaffin cell ใน adrenal medulla (ค) chromaffin cell เป็น modified sympathetic ganglion ในทางเดินระบบประสาทซิมพาเทติก	42
รูปที่ 2.9	เปรียบเทียบทางเดินประสาทขาออก สารสื่อประสาท และตัวรับของระบบประสาทมอเตอร์ และระบบประสาทอัตโนมัติ	42
รูปที่ 2.10	ระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกในการควบคุม การหดและขยายของรูม่านตา	50
รูปที่ 2.11	ระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกในการควบคุมหัวใจและปอด	51
รูปที่ 2.12	ระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกในการควบคุมอวัยวะ ในช่องท้องและอุ้งเชิงกราน	54
รูปที่ 2.13	ระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกในการควบคุมกระเพาะปัสสาวะ และการขับถ่ายปัสสาวะ	56
รูปที่ 2.14	ตำแหน่งของนิวเคลียสในก้านสมองที่มีบทบาทในการควบคุมรีเฟล็กซ์ ของอวัยวะภายในของร่างกาย	59
รูปที่ 2.15	ตำแหน่งบนผิวหนังที่เกิด referred pain จากอวัยวะต่างๆ ภายในร่างกาย	61
รูปที่ 2.16	กลไกการเกิด referred pain	61
รูปที่ 2.17	กลไกการควบคุมความดันโลหิตให้อยู่ในภาวะธำรงดุล โดยระบบประสาทอัตโนมัติ	63
รูปที่ 2.18	กลไกภาวะธำรงดุลขณะออกกำลังกายโดยระบบประสาทอัตโนมัติ	64
รูปที่ 3.1	การสร้างโดพามีนในสมอง	74
รูปที่ 3.2	วงจรโดพามีนในสมอง	74
รูปที่ 3.3	การสร้างเซโรโทนินในสมอง	77
รูปที่ 3.4	วงจรเซโรโทนินในสมอง	78
รูปที่ 3.5	การสร้างอะเซทิลโคลีนในสมอง	81
รูปที่ 3.6	วงจรอะเซทิลโคลีนในสมอง	82

รูปที่ 3.7	การสร้างนอร์เอพิเนฟรินในสมอง	84
รูปที่ 3.8	วงจรนอร์เอพิเนฟรินในสมอง	85
รูปที่ 3.9	การแบ่งกลีบเปลือกสมองใหญ่ตามหลักกายวิภาคศาสตร์	87
รูปที่ 3.10	การแบ่งกลีบเปลือกสมองใหญ่ตามหน้าที่การทำงานของสมองส่วนต่างๆ	89
รูปที่ 3.11	Inferotemporal cortex (ก) และ Fusiform gyrus (ข)	90
รูปที่ 3.12	กลุ่มเซลล์ในเรติคูลาร์ ฟอร์เมชัน 3 กลุ่ม Parvocellular nucleus, Nucleus gigantocellularis และ Raphe nucleus	94
รูปที่ 3.13	กลไกการกระตุ้นสมองให้เกิดความรู้สึกตัวในคนปกติ	96
รูปที่ 3.14	คลื่นไฟฟ้าสมองที่เกิดขึ้นจากการทำงานของ nonspecific thalamic nuclei เมื่อไม่มี reticular formation และเมื่อมี reticular formation (จากการทดลองให้การกระตุ้นไฟฟ้าในสมองของหนูขาว)	96
รูปที่ 3.15	กลไกการทำงานของสมองและสารสื่อประสาทในการควบคุมการนอนหลับระยะต่างๆ และการตื่นในคนปกติ	98
รูปที่ 3.16	เปรียบเทียบการนอนหลับของผู้สูงอายุ (70-79 ปี) กับวัยผู้ใหญ่ (30-39 ปี)	103
รูปที่ 4.1	อาการต่างๆ ของโรคซึมเศร้าที่สัมพันธ์กับการขาดสารสื่อประสาทนอร์เอพิเนฟริน (Norepinephrine) เซโรโทนิน (Serotonin) และโดพามีน (Dopamine)	114
รูปที่ 4.2	การออกฤทธิ์ของยา Typical antipsychotic drug ในผู้ป่วยโรคจิตเภท	119
รูปที่ 4.3	การออกฤทธิ์ของยา Atypical antipsychotic drug ในผู้ป่วยโรคจิตเภท	119
รูปที่ 4.4	การสร้างและการออกฤทธิ์ของกลูตาเมตในสมอง	121
รูปที่ 4.5	ผลของ glutamate hypofunction ต่อโดพามีนใน mesocortical pathway	124
รูปที่ 4.6	ผลของ glutamate hypofunction ต่อโดพามีนใน mesolimbic pathway	124
รูปที่ 4.7	การสร้างและการออกฤทธิ์ของกาบาในสมอง	125
รูปที่ 5.1	Prepulse inhibition test	139
รูปที่ 5.2	NMDA receptor และ VGLUT1-3	143
รูปที่ 5.3	NMDA receptor ในสมองส่วน prefrontal cortex (ก) hippocampus (ข) และ striatum (ค) ของหนูกลุ่มควบคุม ย้อมโดยเทคนิค Immunohistochemistry	143

รูปที่ 5.4	VGLUT1 ย้อมโดยเทคนิค Immunohistochemistry ในสมองส่วน (ก) CA1 ของ hippocampus และ (ข) dentate gyrus ของหนูกลุ่มควบคุม	145
รูปที่ 5.5	Glutamatergic disinhibition จากการลดลงของกาบาทำให้เกิดภาวะ glutamatergic excitotoxicity	147
รูปที่ 5.6	Calbindin (CB) ย้อมโดยเทคนิค Immunohistochemistry ในสมองส่วน (ก) prefrontal cortex (ข) striatum และ (ค) CA1-3 ของหนูกลุ่มควบคุม	148
รูปที่ 5.7	Parvalbumin (PV) ย้อมโดยเทคนิค Immunohistochemistry ในสมองส่วน (ก) prefrontal cortex (ข) striatum และ (ค) CA1-3 ของหนูกลุ่มควบคุม	148
รูปที่ 5.8	Calretinin (CR) ย้อมโดยเทคนิค Immunohistochemistry ในสมองส่วน (ก) prefrontal cortex (ข) striatum และ (ค) CA1-3 ของหนูกลุ่มควบคุม	148

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	หน้าที่ของระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย	4
ตารางที่ 1.2	ตัวอย่างค่าปกติของ regulated variables ที่สำคัญในร่างกาย	9
ตารางที่ 2.1	สรุปความแตกต่างระหว่างระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก	34
ตารางที่ 2.2	หน้าที่ของระบบประสาทซิมพาเทติกต่ออวัยวะที่สำคัญในร่างกาย	37
ตารางที่ 2.3	หน้าที่ของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกต่ออวัยวะที่สำคัญในร่างกาย	39
ตารางที่ 2.4	สารออกฤทธิ์ (agonist) สารออกฤทธิ์ต้าน (antagonist) และตัวนำข่าวลำดับที่สอง (second messenger) ของตัวรับชนิดต่างๆ ในร่างกาย	44
ตารางที่ 2.5	เปรียบเทียบความเด่นในการออกฤทธิ์ที่ต่างกัน ระหว่างนอร์เอพิเนฟริน (NE) และเอพิเนฟริน (E) (+ หมายถึงออกฤทธิ์น้อย, + + + + + หมายถึงออกฤทธิ์มาก)	45
ตารางที่ 2.6	ชนิดของตัวรับแอดรีเนอร์จิกที่อวัยวะเป้าหมายและการตอบสนอง ของอวัยวะเป้าหมายของระบบประสาทอัตโนมัติต่อ adrenergic impulse และ cholinergic impuls	46

คำนำ

การรักษาสมดุลของร่างกายหรือภาวะธำรงดุล (Homeostasis) เป็นหัวใจสำคัญของวิชาสรีรวิทยาและเป็นพื้นฐานสำหรับการเรียนและการประกอบวิชาชีพด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์ เนื่องจากการเกิดโรคมักมีสาเหตุมาจากความผิดปกติของกระบวนการรักษาสมดุลของระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย ดังนั้นเพื่อที่จะเข้าใจพยาธิสภาพของโรค นักศึกษาจำเป็นต้องมีพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับกลไกการรักษาสมดุลของร่างกายให้อยู่ในสภาวะปกติซึ่งได้อธิบายในบทที่ 1 ของตำราเล่มนี้ การรักษาสมดุลของร่างกายอาศัยการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติเป็นหลัก ในบทที่ 2 จึงได้อธิบายโครงสร้างและหน้าที่ของระบบประสาทอัตโนมัติและบทบาทหน้าที่ในการควบคุมสมดุลของร่างกาย นอกจากสมดุลของระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกายแล้ว สมดุลของสารสื่อประสาทในสมองก็มีบทบาทสำคัญต่อการเกิดโรคต่างๆ เช่นกัน โดยเฉพาะโรคทางจิตเวช ในบทที่ 3 และ 4 จึงมีเนื้อหาว่าด้วยสมดุลของสารสื่อประสาทชนิดต่างๆ ในสมองที่มีความเกี่ยวข้องกับการเกิดโรคทางจิตเวชที่สำคัญ ได้แก่ โรคซึมเศร้า โรคอารมณ์สองขั้วและโรคจิตเภท เป็นต้น นอกจากนี้ยังสรุปหน้าที่ของสารสื่อประสาทในสมองและบทบาทของสารสื่อประสาทเหล่านี้ในการควบคุมพฤติกรรม อารมณ์ ระดับความรู้สึกตัว วงจรการหลับ/ตื่นในวัยผู้ใหญ่และวัยสูงอายุ

ในบทสุดท้ายของตำราได้สอดแทรกงานวิจัยของผู้เขียนในเรื่องความผิดปกติของโปรตีนตัวพาและตัวรับสารสื่อประสาทชนิดต่างๆ ในสมองต่อการเกิดโรคจิตเภทและผลของสารสกัดสมุนไพรในการรักษาอาการของโรคจิตเภทซึ่งได้ทำการทดลองในหนูขาวที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีอาการของโรคจิตเภทเพื่อให้นักศึกษาเห็นความเชื่อมโยงระหว่างเนื้อหาวิชาและงานวิจัยจะได้นำไปใช้ในการประกอบวิชาชีพและทำวิจัยในอนาคต

ตำราเล่มนี้มีการอธิบายเนื้อหาโดยใช้ศัพท์ที่อ้างอิงจากหนังสือคำศัพท์สรีรวิทยา สรีรวิทยาสมาคมแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2542 และหนังสือศัพท์แพทยศาสตร์ อังกฤษ-ไทย ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2543 แต่บางคำหรือบางหัวข้อที่ไม่สามารถใช้ศัพท์ภาษาไทยได้เนื่องจากไม่มีในศัพท์บัญญัติหรือการใช้ศัพท์ภาษาไทยในการอธิบายกลไกบางอย่างอาจทำให้ผู้อ่านเกิดความสับสนโดยเฉพาะการเรียกชื่อทางเดินระบบประสาทและส่วนต่างๆ ของระบบประสาทซึ่งผู้เขียนจะขอใช้ศัพท์ภาษาอังกฤษแทนแต่จะใช้ในกรณีที่เป็นเท่านั้น หากผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยมา ณ ที่นี้

ขอขอบคุณคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการเขียนตำราเล่มนี้ และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านสำหรับข้อเสนอแนะในการปรับปรุงตำราเล่มนี้ให้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ คุณอาภัสสรฯ สมตน คุณศุภชัย สังขทัต ณ อรุณยา และคุณสิรินทร์ สังขทัต ณ อรุณยา ผู้วาดภาพประกอบตำราเล่มนี้ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขอขอบคุณกองบรรณาธิการและเจ้าหน้าที่สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ที่กรุณาจัดพิมพ์ตำราเล่มนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรีศนา ปิยะพันธุ์

สาขาสรีรวิทยา สถาบันวิทยาศาสตร์พระคณินิก

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



หลักของภาวะธำรงดุล (Principle of Homeostasis)

วัตถุประสงค์

1. อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างของเหลวนอกเซลล์ (Extracellular fluid) และของเหลวภายในเซลล์ (Intracellular fluid) ในภาวะธำรงดุล (Homeostasis)
2. อธิบายความหมาย ความสำคัญและกลไกภาวะธำรงดุล
3. อธิบายค่าปกติของตัวแปรที่ถูกควบคุมในร่างกายและกลไกภาวะธำรงดุล ได้แก่ positive feedback, negative feedback และ feedforward control
4. อธิบายความสัมพันธ์และการทำงานร่วมกันของอวัยวะในระบบต่างๆ ของร่างกายเพื่อควบคุมการเปลี่ยนแปลงของร่างกายให้อยู่ในภาวะธำรงดุล
5. อธิบายกลไกของร่างกายในการปรับตัวกลับเข้าสู่ภาวะธำรงดุลเมื่ออยู่ในสถานการณ์ต่างๆ เช่น ออกกำลังกาย รับประทานอาหาร เสียเลือดจากอุบัติเหตุ เป็นต้น
6. อธิบายกลไกเบื้องต้นในการควบคุมภาวะธำรงดุลโดยระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous system)

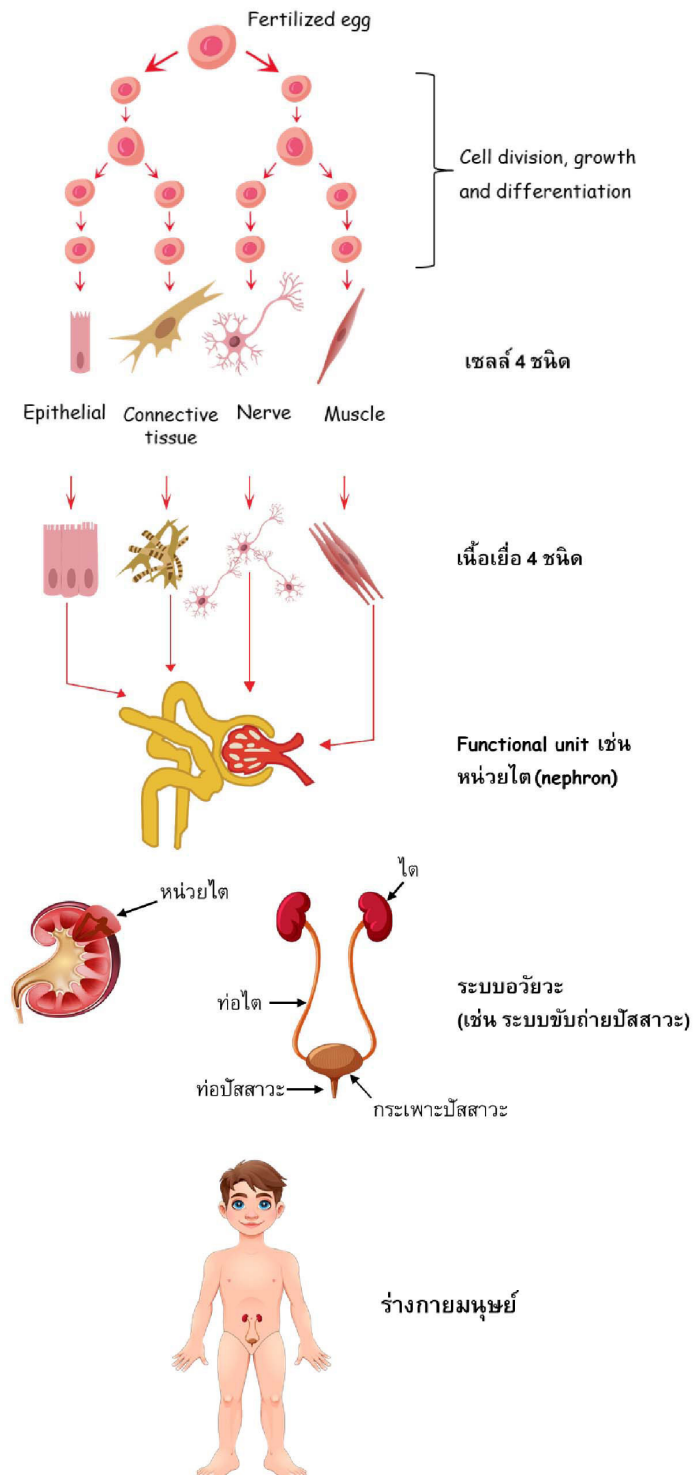
หลักของภาวะร่างกาย

การจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกาย

หากจะจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกาย หน่วยที่เล็กที่สุดที่เป็นจุดเริ่มต้นของระบบร่างกาย คือ เซลล์ (cell) ร่างกายมนุษย์เริ่มต้นจากเซลล์ไข่ปฏิสนธิกับสเปิร์ม แบ่งตัวมาเรื่อยๆ เป็นเซลล์หลายๆ ชนิด แต่ละชนิดมีจำนวนมากมาย ซึ่งถ้าแบ่งชนิดของเซลล์ตามหน้าที่แล้วจะแบ่งได้เป็น 4 ชนิด ดังนี้

1. เซลล์กล้ามเนื้อ (Muscle cell)
2. เซลล์ประสาท (Nerve cell)
3. เซลล์เนื้อเยื่อบุผิว (Epithelial cell)
4. เซลล์เนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (Connective tissue cell)

เซลล์ชนิดเดียวกันหลายๆ เซลล์รวมกลุ่มทำงานร่วมกันเรียกว่า เนื้อเยื่อ (tissue) ดังนั้นเนื้อเยื่อแบ่งออกเป็น 4 ชนิดเช่นเดียวกับเซลล์ ได้แก่ เนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ (muscle tissue) เนื้อเยื่อเส้นประสาท (nerve tissue) เนื้อเยื่อบุผิว (epithelial tissue) และเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน (connective tissue) เนื้อเยื่อ 4 ชนิดนี้รวมกลุ่มกันจะเกิดเป็นหน่วยทำงาน (functional unit) ซึ่งหมายถึงหน่วยที่เล็กที่สุดที่ทำให้เกิดการทำงานในอวัยวะนั้นๆ ซึ่ง functional unit หลายๆ หน่วยรวมกันจะเป็นอวัยวะ (organ) และหลายๆ อวัยวะที่ทำงานร่วมกันมีหน้าที่เหมือนกันจะเรียกว่า ระบบอวัยวะ (organ system) ซึ่งหลายๆ ระบบอวัยวะจะประกอบกันเป็นระบบร่างกายของเรา (organism) ตัวอย่างการจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกายแสดงดังรูปที่ 1.1 เนื้อเยื่อทั้ง 4 ชนิดดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้นรวมกลุ่มกันเกิดเป็นหน่วยไต (nephron) ซึ่งเป็นหน่วยทำงานของไต (kidney) หลายๆ หน่วยไตประกอบกันเป็นไตซึ่งเป็นอวัยวะหนึ่งในร่างกายที่ต้องทำงานร่วมกันกับอวัยวะอื่นๆ ได้แก่ ท่อไต (ureter) กระเพาะปัสสาวะ (bladder) และท่อปัสสาวะ (urethra) เพื่อสร้างและขับปัสสาวะ อวัยวะเหล่านี้รวมกันเรียกว่า ระบบขับถ่ายปัสสาวะ (urinary system) ซึ่งเป็นระบบอวัยวะหนึ่งในร่างกาย ร่างกายยังมีระบบอวัยวะอื่นๆ อีกได้แก่ ระบบหัวใจและ



รูปที่ 1.1 การจัดลำดับองค์ประกอบของร่างกาย
(ดัดแปลงจาก Vander, 2004)

การไหลเวียนโลหิต ระบบทางเดินอาหาร ระบบปอดและการหายใจ ระบบสืบพันธุ์ ระบบประสาท เป็นต้น ซึ่งทุกระบบอวัยวะนี้ประกอบกันเป็นร่างกายของเรา หน้าที่ของระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกายสรุปได้ดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 หน้าที่ของระบบอวัยวะต่างๆ ในร่างกาย

(ดัดแปลงจาก Vander, 2004)

ระบบ	อวัยวะ	หน้าที่หลัก
ไหลเวียนโลหิต	หัวใจ หลอดเลือด เลือด	- นำเลือดไปเลี้ยงร่างกาย
หายใจ	จมูก คอหอย กล่องเสียง หลอดลม ปอด	- แลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และ ออกซิเจน (O_2) - ควบคุมปริมาณ CO_2 และ O_2 ในเลือด (partial pressure of CO_2 (PaCO_2) และ partial pressure of O_2 (PaO_2) และค่าความเป็นกรดต่างของเลือด (blood pH)
ทางเดินอาหาร	ปาก คอหอย หลอดอาหาร กระเพาะอาหาร ลำไส้ ต่อม น้ำลาย ตับอ่อน ตับ ถุงน้ำดี	- ย่อยอาหารและดูดซึมสารอาหารเข้าสู่ร่างกาย - ขับถ่ายอุจจาระ
ไตและขับถ่าย ปัสสาวะ	ไต ท่อไต กระเพาะปัสสาวะ ท่อปัสสาวะ	- ขับเกลือ น้ำส่วนเกินและของเสียในร่างกายออกมากับปัสสาวะ - ควบคุมความเข้มข้นของเลือดและความเป็นกรดต่าง
กระดูกและกล้ามเนื้อ	กระดูกอ่อน กระดูก เส้นเอ็น ข้อต่อ กล้ามเนื้อโครงร่าง	- ประกอบกันเป็นโครงสร้างของร่างกาย ช่วยในการเคลื่อนไหวร่างกาย - ป้องกันอวัยวะสำคัญภายในร่างกาย
ภูมิคุ้มกัน	เม็ดเลือดขาว ต่อมและท่อทางเดินน้ำเหลือง ม้าม ต่อมไทมัส	- กำจัดเชื้อโรคและสิ่งแปลกปลอมที่เข้าสู่ร่างกาย - สร้างเม็ดเลือดขาว
ประสาท	สมอง ไขสันหลัง เส้นประสาท ปมประสาท อวัยวะรับสัมผัสพิเศษ	- เป็นศูนย์ประมวลผล รับรู้และสั่งการร่างกายให้อยู่ในภาวะธำรงดุล (homeostasis) - ควบคุมความรู้สึกตัว (consciousness) การเรียนรู้ (learning หรือ cognition) ความจำ (memory) ควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายและการรับความรู้สึก