ปริศนา ปิยะพันธุ์.

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

1. ภาวะธำรงดุล. 2. ระบบประสาทออโตโนมิก. 3. สารส่งผ่านประสาท.

QT120

ISBN 978-616-314-757-8

ลิขสิทธิ์ของ**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปริศนา ปิยะพันธุ์**

สงวนลิขสิทธิ์

ฉบับพิมพ์ครั้งที่ 2 เดือนกันยายน 2564

จำนวน 30 เล่ม

จัดพิมพ์และจัดจำหน่ายโดย**สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

ท่าพระจันทร์: อาคารธรรมศาสตร์ 60 ปี ชั้น U1 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ถนนพระจันทร์ กรุงเทพฯ 10200 โทร. 0-2223-9232

ศูนย์รังสิต: อาคารโดมบริหาร ชั้น 3 ห้อง 317 มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12121 โทร. 0-2564-2859-60 โทรสาร 0-2564-2860

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

---

พิมพ์ที่**โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์**

ภาพประกอบโดย อาภัสสรา สมตน

ศุภชัย สังขทัต ณ อยุธยา

สิขรินทร์ สังขทัต ณ อยุธยา

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 การรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกายโดยระบบประสาทอัตโนวัติ

(Regulation of Homeostasis by Autonomic Nervous System) **27**

ชนิดของระบบประสาท 28

ระบบประสาทอัตโนวัติ 29

1. ชนิดของระบบประสาทอัตโนวัติ 30

2. สารสื่อประสาทในระบบประสาทอัตโนวัติ 39

3. ตัวรับในระบบประสาทอัตโนวัติ 43

ผลของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติกต่ออวัยวะต่าง ๆ
เพื่อรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกาย 49
1. รูม่านตา 49
2. ต่อมเหงื่อ กล้ามเนื้อรูขุมขน และหลอดเลือดบริเวณผิวหนัง และกล้ามเนื้อแขนขา 50
3. หัวใจและปอด 51
4. อวัยวะในช่องท้อง 52
5. อวัยวะในอุ้งเชิงกราน 53
6. กระเพาะปัสสาวะและการขับถ่ายปัสสาวะ 55
ความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนวัติ 57
บทบาทของระบบประสาทพาราซิมพาเทติกในการควบคุมรีเฟล็กซ์ของอวัยวะภายใน 58
ทางเดินประสาทขาเข้าของระบบประสาทซิมพาเทติกและพาราซิมพาเทติก 58
บทบาทของระบบประสาทซิมพาเทติกในการเกิดความเจ็บปวดนอกบริเวณพยาธิสภาพ 60
ศูนย์กลางการควบคุม visceral reflex และ autonomic reflex ในสมอง 62
ตัวอย่างของการรักษาภาวะธำรงดุลของร่างกายโดยระบบประสาทอัตโนวัติ 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

เซโรโทนิน 76
1. การสร้างเซโรโทนินในสมอง 76
2. วงจรเซโรโทนิน 78
3. บทบาทของเซโรโทนินต่อภาวะธำรงดุลของสมอง 79
อะเซทิลโคลีน 80
1. การสร้างอะเซทิลโคลีนในสมอง 80
2. วงจรอะเซทิลโคลีน 82
3. บทบาทของอะเซทิลโคลีนต่อภาวะธำรงดุลของสมอง 82
นอร์เอพิเนฟริน 83
1. การสร้างนอร์เอพิเนฟรินในสมอง 83
2. วงจรนอร์เอพิเนฟริน 83
3. บทบาทของนอร์เอพิเนฟรินต่อภาวะธำรงดุลของสมอง 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 งานวิจัยผลของสารสกัดสมุนไพรพรมมิในการรักษาสมดุลของสารสื่อประสาทในสมองของหนูที่ถูกเหนี่ยวนำให้มีอาการของโรคจิตเภท 135

การเหนี่ยวนำให้หนูขาวเกิดอาการของโรคจิตเภท 137

1. การได้รับ Phencyclidine 137
2. การได้รับแอมเฟทามีน 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

Index 157

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	สรุปกลไกการควบคุมอุณหภูมิกายขณะออกกำลัง	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 ในทางเดินประสาทขาออกของระบบประสาทอัตโนวัติ	31
รูปที่ 2.2	เปรียบเทียบทางเดินประสาทขาออกระหว่างระบบประสาทอัตโนวัติและระบบประสาทมอเตอร์	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) ต่อมหมวกไต (ข) chromaffin cell ใน adrenal medulla
(ค) chromaffin cell เป็น modified sympathetic ganglion
ในทางเดินระบบประสาทซิมพาเทติก 42
รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบทางเดินประสาทขาออก สารสื่อประสาท
และตัวรับของระบบประสาทมอเตอร์ และระบบประสาทอัตโนวัติ 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
โดยระบบประสาทอัตโนวัติ 63
รูปที่ 2.18 กลไกภาวะธำรงดุลขณะออกกำลังโดยระบบประสาทอัตโนวัติ 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 ฟอร์เมชั่น 3 กลุ่ม Parvacellular 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 เปรียบเทียบความเด่นในการออกฤทธิ์ที่แตกต่างกันระหว่างนอร์เอพิเนฟริน (NE) และเอพิเนฟริน (E) (+ หมายถึงออกฤทธิ์น้อย, + + + + + หมายถึงออกฤทธิ์มาก) 45

ตารางที่ 2.6 ชนิดของตัวรับแอดรีเนอร์จิกที่อวัยวะเป้าหมายและการตอบสนองของอวัยวะเป้าหมายของระบบประสาทอัตโนวัติต่อ adrenergic impulse และ cholinergic impuls 46