cupress

ชีวเคมีของสมองเชิงบูรณาการ: แทบอลิซึมและการประสานประสาท

ชีวเคมีของสมองเชิงบูรณาการ: เม..
WL300 ต183ช 2564
B0009498
bib:13399116968

ตรีทิพย์ รัตนวรชัย

ตรีทิพย์ รัตนวรชัย

ชีวเคมีของสมองเชิงบูรณาการ : เมแทบอลิซึมของสมองและการประสานประสาท / ตรีทิพย์ รัตนวรชัย

1. ประสาทชีวเคมี. 2. สารส่งผ่านประสาท. 3. สารส่งผ่านประสาท -- การเผาผลาญ. 4. สมอง -- การเผาผลาญ. 5. สมอง -- การเผาผลาญผิดปกติ. 6. สมอง -- โรค.

612.822

ISBN 978-974-03-4040-9

สพจ. 2487

เลขหมู่ WL300
ศ183ช 2564
เลขทะเบียน B0009498
วัน.เดือน.ปี 19 พ.ย 2564

สรรคุณค่าวิชาการ สู่สังคม
Knowledge to All
cupress www.cupress.chula.ac.th

สิทธิในการผลิตและพิมพ์หนังสือเล่มนี้เป็นของสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยแต่ผู้เดียว
การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ไม่ว่ารูปแบบใดทั้งสิ้น
ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจากสำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จัดพิมพ์โดย สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 2564
บรรณาธิการอำนวยการ : นางอรทัย นันทนาดิศัย รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญ หาญสืบสาย
กองบรรณาธิการฝ่ายวิชาการ : ศาสตราจารย์ กิตติคุณ ดร.ปิยนาถ บุนนาค
รองศาสตราจารย์พิมพันธ์ เดชะคุปต์
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ชิษณุ พันธุ์เจริญ
รองศาสตราจารย์ ดร.วิมลวรรณ พิมพ์พันธุ์
ผู้ประสานงาน : วาสนา ชำเช็น
พิสูจน์อักษร : โชษิตา วัชโรทัย
ออกแบบปกและรูปเล่ม : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ผู้จัดจำหน่าย ศูนย์หนังสือแห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330
โทร. 0-2218-7000-3, 0-2218-9872 โทรสาร 0-2254-9495
Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0-2255-4433 http://www.chulabook.com
แผนกขายส่ง สาขาหัวหมาก โทร. 0-2374-1375-6 โทรสาร 0-2374-1375
พิมพ์ที่ สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [CUB6406-012] โทร. 0-2218-3562-3
www.cupress.chula.ac.th

สารบัญ

หน้า

คำนำ

กิตติกรรมประกาศ

บทที่ 1 โครงสร้าง หน้าที่ขององค์ประกอบในสมองและระบบประสาทโดยรวม 1

บทนำ 1

ระบบประสาท (Nervous system) 1

1.1 ระบบประสาทส่วนกลาง 2

1.1.1 สมอง (Brain) 2

1.1.2 ไขสันหลัง (Spinal cord) 5

1.1.3 ชนิดของเซลล์ภายในระบบประสาทส่วนกลาง 8

1.1.4 การนำพาสารชีวโมเลกุลเข้าออกสมองผ่านตัวกั้น 15

1.2 ระบบประสาทส่วนปลาย (Peripheral nervous system: PNS) 17

1.3 ระบบประสาทอัตโนมัติ (Autonomic nervous system: ANS) 19

1.3.1 ระบบประสาทซิมพาเททิก 19

1.3.2 ระบบประสาทพาราซิมพาเททิก 21

สรุป 22

บทที่ 2 ความสำคัญของสารสื่อประสาท สารปรับประสาทและจุดประสานประสาท 23

สารสื่อประสาท (Neurotransmitter) 24

สารปรับประสาท (Neuromodulator) 25

2.1 ประเภทของสารส่งผ่านกระแสประสาท 25

2.1.1 Type I กลุ่มกรดอะมิโนอย่างง่าย 26

2.1.2 Type II กลุ่มนี้จัดเป็นสารสื่อประสาทดั้งเดิม 26

2.1.3 Type III กลุ่มนี้ได้แก่นิวโรเพพไทด์ 26

2.2 การขนส่งเพพไทด์และโปรตีนผ่านแอกซอน (Axonal transport) 27

2.3 การส่งกระแสประสาท (Neurotransmission) 28

2.4 การส่งสัญญาณประสาทผ่านซินแนปส์ 29

2.5 การเก็บและปล่อยสารสื่อ/ปรับประสาทจากถุงเก็บ (Synaptic vesicles) 30

2.6 การปล่อยสารสื่อประสาทและสารปรับประสาทด้วยกระบวนการเอกโซไซโทซิส 32

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.7 ตัวรับจำเพาะ (Receptors)	33
2.7.1 ตัวรับชนิดไอออนโนโทรพิก (Ionotropic receptors: Ion channel)	33
2.7.2 ตัวรับชนิดเมทาโบโทรพิก (Metabotropic receptor) ผ่านตัวกลาง	34
2.8 การทำลายหรือเก็บไปใช้	37
สรุป	37
บทที่ 3 สารสื่อประสาท type I	**39**
3.1 กลูตาเมต (Glutamate)	39
3.1.1 โครงสร้างทางเคมี	39
3.1.2 การสังเคราะห์กลูตาเมต	39
3.1.3 บทบาทการทำงาน	41
3.1.4 ตัวรับจำเพาะของกลูตาเมต	42
3.1.5 ตัวพากลูตาเมต (Glutamate transporter:	44
3.1.6 การกำจัด/การนำกลับไปใช้ใหม่	44
3.2 แอสพาร์เทต (Aspartate)	46
3.2.1 โครงสร้างทางเคมี	46
3.2.2 บทบาทการทำงานและการนำกลับมาใช้ใหม่	46
3.3 แกมมาอะมิโนบิวทีริคแอสิดหรือนิยมเรียกว่ากาบา (γ-Aminobutyric acid; GABA)	46
3.3.1 การสังเคราะห์	47
3.3.2 บทบาทการทำงาน	47
3.3.3 ตัวรับจำเพาะ มี 2 ชนิดคือ	47
3.3.4 ตัวพากาบา	48
3.3.5 การนำกลับไปใช้ใหม่	48
3.3.6 ประโยชน์และอันตรายจากกาบา	49
3.3.7 ยาหลายชนิดทำงานโดยออกฤทธิ์ที่ตัวรับจำเพาะของกาบา	49
3.4 ไกลซีน (Glycine)	50
3.4.1 โครงสร้างทางเคมี	50
3.4.2 บทบาทการทำงานและการนำกลับมาใช้ใหม่	50
3.4.3 อันตรายจากไกลซีน	50
สรุป	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 สารสื่อประสาท type II 53

4.1 อะเซทิลโคลีน (Acetylcholine; ACh) 53

4.1.1 โครงสร้างทางเคมี 53

4.1.2 การสังเคราะห์ 53

4.1.3 บทบาทการทำงาน 55

4.1.4 ตัวรับจำเพาะของอะเซทิลโคลีน มี 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ 56

4.1.5 บทบาทของอะโกนิสต์และสารยับยั้งอะเซทิลโคลีนเอสเทอเรส 58

4.1.6 โรคและสารพิษเนื่องจากระดับที่เปลี่ยนแปลงไปของอะเซทิลโคลีน 59

4.2 โดปามีน (Dopamine; DA) 64

4.2.1 โครงสร้างทางเคมี 64

4.2.2 การสังเคราะห์ 64

4.2.3 ตัวพาเข้าออกเซลล์ 65

4.2.4 บทบาทการทำงาน 65

4.2.5 ตัวรับจำเพาะของโดปามีน 66

4.2.6 กระบวนการกำจัดโดปามีน 66

4.2.7 โรค/อาการเนื่องจากระดับที่เปลี่ยนแปลงไปของโดปามีน 68

4.3 อีพิเนฟรินหรือเรียกอะดรีนาลิน และนอร์อีพิเนฟรินหรือเรียกนอร์อะดรีนาลิน 69

4.3.1 โครงสร้างทางเคมี 69

4.3.2 การสังเคราะห์ 69

4.3.3 ตัวรับจำเพาะ 69

4.3.4 บทบาทการทำงาน 70

4.3.5 การกำจัด 71

4.3.6 โรคและสารพิษเนื่องจากระดับที่เปลี่ยนแปลงไปของแคทีโคลามีน 72

4.4 ซีโรโทนิน (Serotonin; 5-Hydroxytryptamine: 5HT) 73

4.4.1 โครงสร้างทางเคมี 73

4.4.2 การสังเคราะห์ 74

4.4.3 บทบาทการทำงาน 75

4.4.4 ตัวรับจำเพาะ 76

4.4.5 ตัวพาซีโรโทนิน 77

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.6 การกำจัด 77
4.4.7 การนำมาใช้ 77
4.4.8 โรคเนื่องจากระดับที่เปลี่ยนแปลงไปของซีโรโทนิน 78
4.5 ฮีสตามีน 79
4.5.1 โครงสร้างทางเคมี 79
4.5.2 การสังเคราะห์ 79
4.5.3 บทบาทการทำงาน 80
4.5.4 การกำจัด 81
สรุป 81

บทที่ 5 สารปรับประสาท type III และอื่น ๆ **83**
5.1 วาโสแอคทีฟ อินเทสทินอลเพพไทด์ 83
5.1.1 โครงสร้างทางเคมี 83
5.1.2 ตัวรับจำเพาะ 84
5.1.3 บทบาทการทำงาน 84
5.2 โอพิออยด์เพพไทด์ 84
5.2.1 โครงสร้างทางเคมี 84
5.2.2 การสังเคราะห์ 85
5.2.3 ตัวรับจำเพาะ 85
5.2.4 บทบาทการทำงาน 86
5.3 สารพีหรือสับสแตนพี 86
5.3.1 โครงสร้างทางเคมี 86
5.3.2 ตัวรับจำเพาะ 86
5.3.3 บทบาทการทำงาน 86
5.4 นิวโรเพพไทด์วาย 87
5.4.1 โครงสร้างทางเคมี 87
5.4.2 ตัวรับจำเพาะ 87
5.4.3 บทบาทการทำงาน 87
5.5 โคเลซิสโตไคนิน 87
5.5.1 โครงสร้างทางเคมี 87

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.5.2 ตัวรับจำเพาะ 88
5.5.3 บทบาทการทำงาน 88
5.6 สารปรับประสาทอื่น ๆ ที่ไม่ใช่นิวโรเพพไทด์ 89
5.6.1 ไนตริกออกไซด์ (Nitric oxide) 89
5.6.2 สารกลุ่มเพียวรีน (Purine neurotransmitters/neuromodulators) 90
สรุป 95

บทที่ 6 เมแทบอลิซึมของสารชีวโมเลกุลและการบูรณาการในสมอง 97
6.1 การส่งสัญญาณประสาทผ่านแอกชันโพเทนเชียล 98
6.2 การทำงานของเอนไซม์โซเดียมโปตัสเซียมเอทีพีเอส (Na^+-K^+-ATPase) 100
6.3 เมแทบอลิซึมของกลูโคสในสมอง 102
6.4 ลิพิดและเมแทบอลิซึม 112
6.5 เมแทบอลิซึมของโปรตีน 116
สรุป 119

บทที่ 7 ความผิดปกติของสมองด้านเมแทบอลิก 121
7.1 ความผิดปกติของสมองเนื่องจากระดับน้ำตาลกลูโคสต่ำ (Hypoglycemic Encephalopathy) 121
7.2 ความผิดปกติของสมองเนื่องจากระดับออกซิเจนต่ำ (Hypoxic Encephalopathy) 127
7.3 อันตรายจากการให้อาหารและออกซิเจนแก่ผู้ขาดเลือดหรือสารอาหารเป็นเวลานาน 130
7.4 ความผิดปกติของสมองเนื่องจากความผิดปกติของตับและมีระดับแอมโมเนียสูง 130
7.5 ความผิดปกติของสมองเนื่องจากระดับบิลิรูบินอิสระสูง (Bilirubin encephalopathy) 135
7.6 ความผิดปกติของสมองเนื่องจากระดับวิตามินบีต่ำ 137
7.6.1 ผลของการขาดวิตามินบี 1 (Thiamine/vitamin B1 deficiency) 137
7.6.2 ผลของการขาดวิตามินบี 12 (Cobalamin/vitamin B12 deficiency) 139
สรุป 141

บทที่ 8 บทสรุป 143

บรรณานุกรม 145
ดัชนี 151

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1-1	ปริมาณสารชีวโมเลกุลในน้ำไขสันหลัง (cerebrospinal fluid: CSF) เทียบกับในพลาสมา	8
ตารางที่ 2-1	สารสื่อประสาทและสารปรับประสาทประเภทต่าง ๆ	26
ตารางที่ 3-1	ตัวอย่างยารักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับกลไกการทำงานของกลูตาเมต	45
ตารางที่ 4-1	การทำงานของตัวรับจำเพาะของซีโรโทนิน	76
ตารางที่ 4-2	กลไกการทำงานของยาที่เกี่ยวข้องกับซีโรโทนิน	79
ตารางที่ 5-1	สารสื่อประสาทที่อยู่ที่เดียวกับนิวโรเพพไทด์	88
ตารางที่ 5-2	การออกฤทธิ์ของ growth factors บางชนิด	95
ตารางที่ 6-1	พลังงานที่ใช้ในสมอง	98
ตารางที่ 6-2	ตัวอย่าง Glucose transporter	105
ตารางที่ 7-1	การขาดออกซิเจนเนื่องจากขึ้นไปอยู่ที่สูง	128
ตารางที่ 7-2	ตำแหน่งที่อยู่ของเอนไซม์ในสมอง	134
ตารางที่ 7-3	ความแตกต่างระหว่างอะพอพโทซิส (apoptosis) และเนโครซิส (necrosis)	136

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1-1 กลีบสมองส่วนต่าง ๆ 3
รูปที่ 1-2 ตำแหน่งของส่วนต่าง ๆ ของสมองส่วนไดเอนเซฟาลอน 4
รูปที่ 1-3 โครงสร้างภายในของสมองส่วนกลางและสมองส่วนหลัง 5
รูปที่ 1-4 (a) เส้นประสาทของไขสันหลัง (b) การเรียกชื่อระนาบการแบ่งส่วน 6
รูปที่ 1-5 (a) โครงสร้างภายในนิวรอน (b) การทำงาน 9
รูปที่ 1-6 ตัวอย่างลักษณะของนิวรอน (neuron) และ เซลล์นิวโรเกลีย (neuroglial cells) 10
รูปที่ 1-7 (a) fenestration (b) tight junction 11
รูปที่ 1-8 สิ่งกั้นระหว่างหลอดเลือดกับเซลล์สมอง (blood-brain barrier) 12
รูปที่ 1-9 ความสามารถของสารประกอบหลายชนิดในการผ่านเข้าออกสมอง 12
รูปที่ 1-10 ภาพสมองตัดแบบซาจิทอล แสดงบริเวณที่ไม่มีตัวกั้นระหว่างสมองและหลอดเลือด 14
รูปที่ 1-11 ตัวกั้นระหว่างหลอดเลือดและน้ำไขสันหลัง (Blood-cerebrospinal fluid: CSF barrier) 14
รูปที่ 1-12 การนำพาสารผ่านตัวกั้นระหว่างหลอดเลือดและสมอง (blood brain barrier) 15
รูปที่ 1-13 เส้นประสาทสมอง (Cranial nerves) 18
รูปที่ 1-14 เส้นประสาทไขสันหลัง (Spinal nerves) 19
รูปที่ 1-15 ระบบประสาทซิมพาเททิก 20
รูปที่ 1-16 ระบบประสาทพาราซิมพาเททิก 21
รูปที่ 1-17 ระบบประสาทซิมพาเททิกและระบบประสาทพาราซิมพาเททิก 22
รูปที่ 2-1 ภาพจำลองประวัติการศึกษาสารสื่อประสาท 24
รูปที่ 2-2 คุณสมบัติของสารสื่อประสาท (neurotransmitter) 25
รูปที่ 2-3 การผลิต neurotransmitter และการส่งไปตามแอกซอน 27
รูปที่ 2-4 การเกิดแอกชันโพเทนเชียล (action potential) 29
รูปที่ 2-5 ตัวอย่างบริเวณที่มีซินแนปส์ 29
รูปที่ 2-6 การเก็บสารสื่อประสาทและสารปรับประสาทในถุงเก็บ 30
รูปที่ 2-7 ลำดับการปล่อยสารสื่อประสาท 31
รูปที่ 2-8 ความถี่ของการกระตุ้นมีผลต่อชนิดของสารสื่อประสาทและสารปรับประสาท 32
รูปที่ 2-9 แผนภาพของลักษณะแอกซอนวาริโคซิตี้ 33
รูปที่ 2-10 การทำงานของตัวรับชนิดไอออนโนโทรพิกและชนิดเมแทโบโทรพิก 34
รูปที่ 2-11 ตัวอย่างการทำงานของสารสื่อประสาทซีโรโทนิน 35
รูปที่ 2-12 กลไกการทำงานของ neurotransmitter และ growth factors 36

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3-1 โครงสร้างทางเคมีของกลูตาเมต 39
รูปที่ 3-2 การสังเคราะห์กลูตาเมตด้วยเอนไซม์กลูตาเมตดีไฮโดรจีเนส 40
รูปที่ 3-3 การสังเคราะห์กลูตาเมตจากกระบวนการทรานสแอมิเนชัน 40
รูปที่ 3-4 การสังเคราะห์กลูตาเมตด้วยเอนไซม์กลูทามิเนสในนิวรอน 40
รูปที่ 3-5 การกำจัดไฮโดรเจนเพอร์ออกไซด์ด้วยกลูตาไทโอน 41
รูปที่ 3-6 การกำจัดสารพิษ (RX) ให้กลายเป็นกรดเมอร์แคบทูริก 41
รูปที่ 3-7 บริเวณที่มี glutamatergic neurons จากสมองของหนู 42
รูปที่ 3-8 ตัวรับกลูตาเมตชนิด NMDA 43
รูปที่ 3-9 ตัวพาและตัวรับจำเพาะของกลูตาเมต 44
รูปที่ 3-10 การทำงานของกลูตาเมตในนิวรอนและการนำกลับไปใช้ใหม่ 44
รูปที่ 3-11 โครงสร้างทางเคมีของ aspartic acid 46
รูปที่ 3-12 การสังเคราะห์ γ-aminobutyric acid (GABA) จาก glutamate 47
รูปที่ 3-13 GABA receptors และ GABA transporter 48
รูปที่ 3-14 การเกิด GABA shunt 48
รูปที่ 3-15 เมแทบอลิซึมของกาบาที่มีการสังเคราะห์ที่นิวรอน 49
รูปที่ 3-16 โครงสร้างทางเคมีของไกลซีน 50
รูปที่ 3-17 การสลายไกลซีนด้วยกลุ่มเอนไซม์ที่เรียกว่า glycine cleavage enzyme 51
รูปที่ 4-1 โครงสร้างทางเคมีของอะเซทิลโคลีน 53
รูปที่ 4-2 การผลิตและสลายอะเซทิลโคลีนในสมอง 54
รูปที่ 4-3 โครงสร้างทางเคมีของโคเอนไซม์เอ 54
รูปที่ 4-4 การสังเคราะห์อะเซทิลโคลีนด้วยเอนไซม์โคลีนอะเซทิลทรานสเฟอเรส 55
รูปที่ 4-5 การสลายอะเซทิลโคลีนด้วยเอนไซม์อะเซทิลโคลีนเอสเทอเรส 55
รูปที่ 4-6 วิถีของเส้นประสาทอะเซทิลโคลีน (Cholinergic pathway) 56
รูปที่ 4-7 ภาพปลากระเบนไฟฟ้า (*Torpedo marmorata*) 56
รูปที่ 4-8 ผลของการได้รับ acetylcholinesterase inhibitor 58
รูปที่ 4-9 กลไกการทำงานของสารพิษโบทูลินัม 61
รูปที่ 4-10 เปรียบเทียบโครงสร้างของยาฆ่าแมลงออร์แกนโนฟอสเฟตและอื่น ๆ กับอะเซทิลโคลีน 63
รูปที่ 4-11 โครงสร้างของยาอะโทรพีนและ พราลิดอกซีม (Pralidoxime:2-PAM) 63
รูปที่ 4-12 โครงสร้างทางเคมีของโดปามีน 64

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 4-13 เมแทบอลิซึมของกรดอะมิโนไทโรซีน 64
รูปที่ 4-14 วิถีโดปามีน (Dopaminergic pathway) 65
รูปที่ 4-15 กลไกการทำงานของโดปามีน 66
รูปที่ 4-16 กระบวนการสลายโดปามีน 67
รูปที่ 4-17 เมแทบอลิซึมของโดปาและโดปามีน 68
รูปที่ 4-18 โครงสร้างทางเคมีของนอร์อีพิเนฟริน อีพิเนฟริน 69
รูปที่ 4-19 วิถีเส้นประสาทนอร์อะดรีนาลิน (Noradrenergic pathway) 70
รูปที่ 4-20 เมแทบอลิซึมของนอร์อิพิเนฟริน 71
รูปที่ 4-21 โครงสร้างทางเคมีของไทรามีน 73
รูปที่ 4-22 โครงสร้างทางเคมีของซีโรโทนิน 73
รูปที่ 4-23 การสังเคราะห์ซีโรโทนินจากกรดอะมิโนทริปโตแฟน 74
รูปที่ 4-24 วิถีของซีโรโทนิน (Serotonergic pathway) 75
รูปที่ 4-25 กระบวนการสังเคราะห์เมลาโทนินจากซีโรโทนิน 75
รูปที่ 4-26 กระบวนการสลายซีโรโทนิน 77
รูปที่ 4-27 ไดอะแกรมการทำงานประสานกันของสารสื่อประสาท 78
รูปที่ 4-28 โครงสร้างทางเคมีของฮีสตามีน 79
รูปที่ 4-29 วิถีเส้นประสาทฮีสตามีนจากไฮโปทาลามัสส่วนหลัง 80
รูปที่ 4-30 การสังเคราะห์ ฮีสตามีน จาก กรดอะมิโนฮีสติดีน 80
รูปที่ 5-1 โครงสร้างทางเคมีของ vasointestinal peptide (VIP) 83
รูปที่ 5-2 โครงสร้างทางเคมีอย่างย่อของโอพิออยด์เพพไทด์ชนิดต่าง ๆ 84
รูปที่ 5-3 กระบวนการ RNA splicing 85
รูปที่ 5-4 โครงสร้างทางเคมีของกลุ่มสารเสพติดมอร์ฟีน เฮโรอีนและโคเดอีน 86
รูปที่ 5-5 โครงสร้างทางเคมีของ substance P 86
รูปที่ 5-6 โครงสร้างทางเคมีของไนตริกออกไซด์ 89
รูปที่ 5-7 กลไกการออกฤทธิ์ของไนตริกออกไซด์ 90
รูปที่ 5-8 โครงสร้างทางเคมีของ ATP 90
รูปที่ 5-9 การสลายเอทีพีพร้อมทั้งโครงสร้างสารเคมีกลุ่มเมทิลแซนทีน: คาเฟอีน และ ทีโอไฟลิน 91
รูปที่ 5-10 โครงสร้างทางเคมีของอะดีโนซีน (adenosine) และเบสอะดีนีน (adenine) 92
รูปที่ 5-11 ตัวอย่างการทำงานของ adenosine modulator excitatory neurotransmitter 94

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 6-1 ลักษณะของเซลล์ประสาท 99
รูปที่ 6-2 การเกิดแอกชันโพเทนเชียล (action potential) 100
รูปที่ 6-3 กลไกการทำงานของ โซเดียมโปตัสเซียมปั๊ม 101
รูปที่ 6-4 การส่งสัญญาณประสาทในรูปกระแสไฟฟ้า 101
รูปที่ 6-5 โครงสร้างทางเคมีของสารพิษคาริบโดทอกซิน 102
รูปที่ 6-6 กิจกรรมของเอนไซม์กลูโคไคเนสและเฮกโซไคเนส 104
รูปที่ 6-7 เมแทบอลิซึมของกลูโคสในสมอง 107
รูปที่ 6-8 เมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต 108
รูปที่ 6-9 a) วัฏจักรแลกเทตระหว่างแอสโทรไซท์และนิวรอน b) กลไกการออกฤทธิ์ 111
รูปที่ 6-10 ไขมันชนิดไตรกลีเซอไรด์ (triglyceride) 112
รูปที่ 6-11 โครงสร้างทางเคมีของฟอสโฟลิพิดในสมอง 112
รูปที่ 6-12 โครงสร้างทางเคมีของสฟิงโกลิพิดในสมอง 113
รูปที่ 6-13 กรดไขมันที่พบในสมอง 113
รูปที่ 6-14 คีโตนบอดีส์ 114
รูปที่ 6-15 การสังเคราะห์คีโตนบอดีส์ 114
รูปที่ 6-16 การสลายคีโตนบอดีส์ 115
รูปที่ 6-17 การทำงานของเอนไซม์กลูตาเมต-ไพรูเวท ทรานส์แอมมิเนส 117
รูปที่ 6-18 การทำงานของเอ็นไซม์กลูตาเมตดีไฮโดรจีเนส 117
รูปที่ 6-19 กลไกการกำจัดแอมโมเนียด้วยวัฏจักรยูเรียที่ตับ 118
รูปที่ 6-20 กระบวนการ glucose-lactate cycle, และ glucose-alanine cycle 118
รูปที่ 7-1 เมแทบอลิซึมของกลูโคสในสมอง: ผลิตสารสื่อประสาทหลายชนิด 122
รูปที่ 7-2 ระดับความเข้มข้นของฟอสโฟครีเอทีน (Pcr) และเอทีพี (ATP) 122
รูปที่ 7-3 การสลายฟอสโฟครีเอทีนร่วมกับอะดีโนซีนไดฟอสเฟต 123
รูปที่ 7-4 การเกิด neurotoxicity จาก ischemia-reperfusion 123
รูปที่ 7-5 การแก้ไขภาวะ brain edema 124
รูปที่ 7-6 สารอนุพันธ์ออกซิเจนที่ว่องไว 126
รูปที่ 7-7 การเกิด lipid peroxidation 126
รูปที่ 7-8 ระดับ phosphocreatine และ ATP ในสมองหนูที่สภาวะออกซิเจนลดลงต่ำ 128
รูปที่ 7-9 กลไกการเกิดพิษต่อระบบประสาทเนื่องจากการขาดเลือด 129

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 7-10 การทำงานของเอนไซม์กลูทามีนซินทีเทสและเอนไซม์กลูทามิเนส 131

รูปที่ 7-11 Glutamatergic Neurotransmission 131

รูปที่ 7-12 a) Glyceraldehyde 3-phosphate shuttle, b) Malate-aspartate shuttle 133

รูปที่ 7-13 ความสัมพันธ์ของกลไกการสังเคราะห์และกำจัดแอมโมเนีย 135

รูปที่ 7-14 ตัวอย่างกลไกการเกิด kernicterus 136

รูปที่ 7-15 Thiamine pyrophosphate (TPP) 137

รูปที่ 7-16 Coenzyme A (CoA) 137

รูปที่ 7-17 Acetyl CoA 137

รูปที่ 7-18 การทำงานของ pyruvate dehydrogenase 138

รูปที่ 7-19 การทำงานของอัลฟาคีโตกลูทาเรตดีไฮโดรจีเนส 138

รูปที่ 7-20 การทำงานของ transketolase 139

รูปที่ 7-21 กลไกการทำงานของวิตามินบี 12 (cobalamin) 140