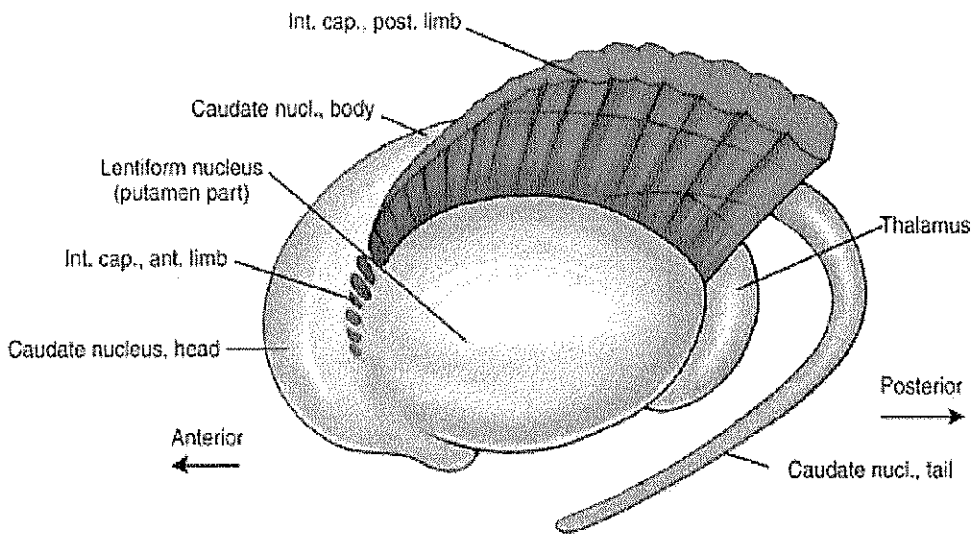
เอกสารประกอบการสอน

เรื่อง ประสาทกายวิภาคศาสตร์ของ Basal ganglia



อ. ดร. อภิชาติ เงินสูงเนิน

สาขาวิชาชีววิทยา

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

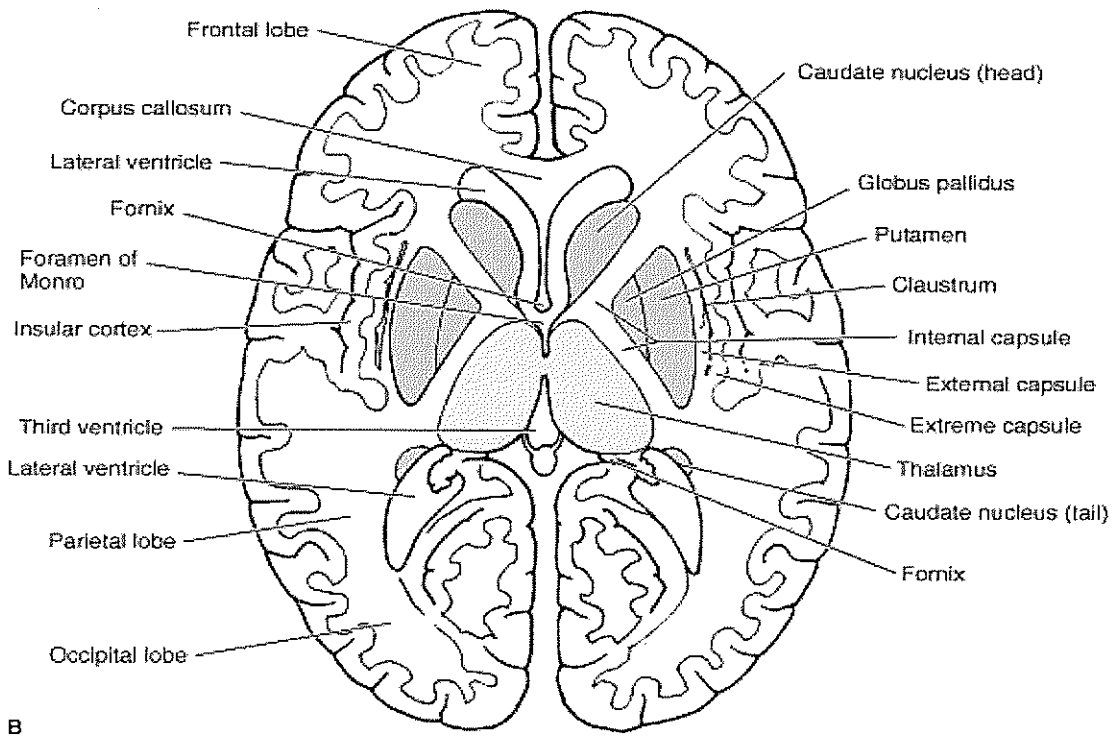
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสาทกายวิภาคศาสตร์ของ Basal ganglia

การควบคุมการทำงานของ motor activity ต่างๆ ของร่างกายต้องอาศัยการควบคุม 2 ระบบ คือ pyramidal system และ extrapyramidal system โดย pyramidal system ได้รับการสั่งการจากสมองใหญ่ (cerebrum) ซึ่งการสั่งการจะทำให้เกิดการเคลื่อนไหวของร่างกาย กลุ่มเซลล์ประสาทของ cerebrum จะส่งสัณญาณประสาท (nerve impulse) ลงมาสู่ lower motor neurons ซึ่งจัดเรียงตัวเป็นกลุ่มบริเวณ anterior gray horn ของไขสันหลัง (spinal cord) โดยผ่านมาทาง anterior corticospinal tract และ lateral corticospinal tract ซึ่งสามารถพบได้บริเวณ white matter ของไขสันหลังบริเวณ anterior funiculus และ lateral funiculus ตามลำดับ สำหรับ extrapyramidal system เป็นระบบที่ควบคุมการทำงานของ pyramidal system ซึ่งการสั่งการสามารถได้มาจากหลายแหล่ง เช่น สมองน้อย (cerebellum) หรือ basal ganglia เป็นต้น เพื่อให้การทำงานของ motor activity เป็นไปอย่างราบรื่น และมีประสิทธิภาพที่สุด

1. โครงสร้างของ Basal ganglia (Structures of basal ganglia)

Basal ganglia คือ กลุ่มของ gray matter ที่รวมตัวกันอยู่ใต้ต่อ cortex ของ cerebrum ดังนั้น กลุ่มโครงสร้าง basal ganglia จึงสามารถเรียกว่า subcortical nuclear mass ได้เช่นเดียวกัน โครงสร้างของ basal ganglia ประกอบด้วย 1) caudate nucleus, 2) putamen, 3) globus pallidus, 4) amygdala nucleus และ 5) claustrum สำหรับหน้าที่ของ amygada nucleus ส่วนใหญ่จะทำงานร่วมกับโครงสร้างของ limbic system และ claustrum ยังไม่ทราบหน้าที่การทำงานที่แน่ชัด ดังนั้นโครงสร้างทั้งสองจึงไม่มีความเกี่ยวข้องกับการทำงานของ basal ganglia โดย caudate, putamen และ globus pallidus สามารถจัดเป็นกลุ่มเดียวกัน เรียกว่า corpus striatum สำหรับโครงสร้างของ caudate nucleus และ putamen มีการพัฒนาร่วมกันและหน้าที่การทำงานสอดคล้องกัน เรียกว่า striatum นอกจากนี้โครงสร้างของ putamen และ globus pollidus มีรูปร่างคล้ายรูปเลนส์หรือลิ่ม เรียกว่า lenticular nucleus ซึ่งสามารถแยกออกจาก caudate nucleus ด้วย anterior limb ของ internal capsule และแยกออกจาก thalamus ด้วย posterior limb ของ internal capsule เช่นเดียวกัน และทางด้านนอกแยกออกจาก claustrum ด้วย external capsule (รูปที่ 1)



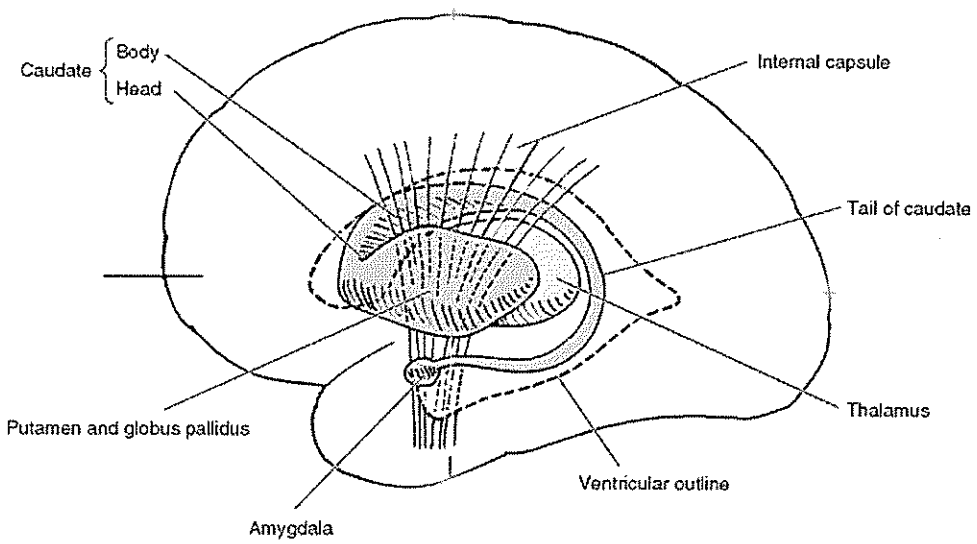
รูปที่ 1 แสดงโครงสร้างของ basal ganglia ซึ่งด้านใน (medial surface) ของ lenticular nucleus แยกออกจาก caudate nucleus และ thalamus ด้วย internal capsule และด้านนอก (lateral surface) แยกออกจาก claustrum ด้วย external capsule (ที่มา Waxman, 2003)

นอกจากโครงสร้างของ basal ganglia ที่กล่าวมาข้างต้นแล้วยังมีโครงสร้างส่วนอื่นๆ ของสมอง (brain) อีก 2 ส่วน ได้แก่ 1) diencephalon คือ subthalamus และ 2) mesencephalon คือ substantia nigra ซึ่งเป็นโครงสร้างของก้านสมอง (brainstem) ส่วน midbrain ซึ่งทำหน้าที่ร่วมกับโครงสร้างของ basal ganglia เพื่อควบคุมการทำงานของ pyramidal system

1.1 Caudate nucleus

Caudate nucleus มีรูปร่างคล้าย comma-shaped ซึ่งวางตัวอยู่ทางด้าน lateral ต่อ lateral ventricle ของ cerebrum บริเวณส่วนต้นเชื่อมติดกับ putamen และบริเวณส่วนปลายต่อเนื่องกับ amygdala nucleus โครงสร้างของ caudate nucleus สามารถแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1) ส่วนหัว (head), 2) ส่วนลำตัว (body) และ 3) ส่วนหาง (tail) ซึ่งเรียงจากทางด้านหน้ามาด้านหลังตามลำดับ สำหรับส่วนหัววางตัวอยู่ใน frontal lobe บริเวณ anterior horn ของ lateral ventricle ซึ่งจะยื่นหรือโปร่งนูนเข้ามาใน ventricle อย่างชัดเจน เมื่อส่วนหัวทอดตัวมาทางด้านหลังของ cerebrum ผ่าน interventricular foramen จะเปลี่ยนเป็นส่วนลำตัว และทอดตัวขนานมาด้านข้างของ lateral ventricle เข้าสู่ temporal lobe

ซึ่งบริเวณ inferior horn ของ lateral ventricle จะเปลี่ยนเป็นส่วนหาง และต่อเนื่องกับ amygdala nucleus (รูปที่ 2)



รูปที่ 2แสดงโครงสร้างของ basal ganglia ซึ่งส่วน caudate nucleus สามารถแบ่งออกเป็น head, body และ tail และสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ ของ lateral ventricle (ที่มา Waxman, 2003)

1.2 Putamen

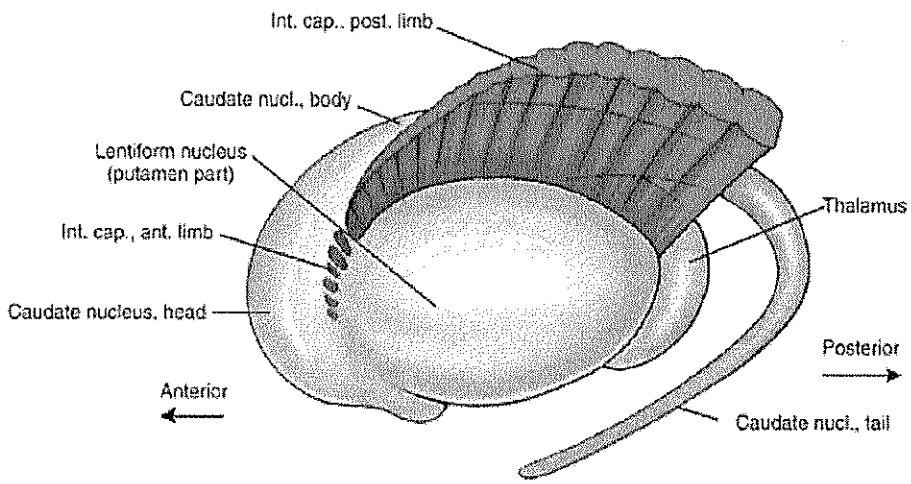
Putamen จัดเป็นโครงสร้างที่ใหญ่ที่สุดของ basal ganglia เมื่อรวมกับโครงสร้าง globus pallidus จะมีรูปร่างคล้ายเลนส์ (lens-shaped) หรือคล้ายลิ่ม (wedge-shaped) เรียกว่า lenticular nucleus (รูปที่ 3) สำหรับขอบเขตของ putamen สามารถแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

1) ด้านล่าง (inferior surface) เชื่อมติดกับส่วนหัวของ caudate nucleus

2) ด้านบน (superior surface) แยกออกจากส่วนอื่นๆ ของ caudate nucleus ด้วย anterior limb ของ internal capsule

3) ด้านนอก (lateral surface) แยกออกจาก claustrum ด้วยแถบขาวของ white matter เรียกว่า external capsule

4) ด้านใน (medial surface) แยกออกจาก globus pallidus ด้วยแถบขาวของ white matter เรียกว่า external medullary laminar



รูปที่ 3 แสดงโครงสร้างของ basal ganglia โดย putamen เป็นส่วนที่ใหญ่ที่สุด ซึ่งแยกออกจาก caudate และ thalamus ด้วย internal capsule และทางด้านล่างจะเชื่อมติดกับ head ของ caudate nucleus (ที่มา Young และคณะ, 2007)

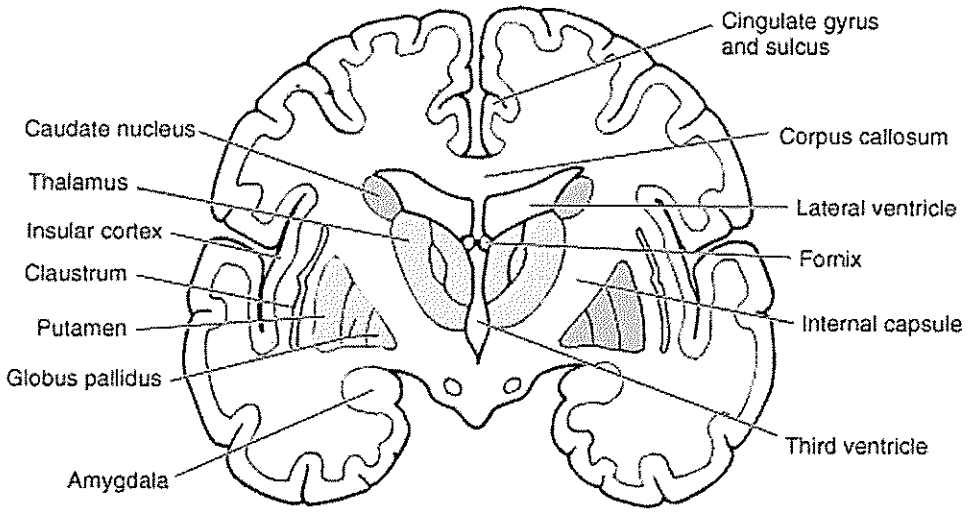
1.3 Globus pollidus

Globus pallidus จัดเป็นโครงสร้างที่มีขนาดเล็ก รูปร่างคล้ายสามเหลี่ยม และวางตัวอยู่ทางด้านในของ putamen โครงสร้างของ putamen และ globus pallidus มีรูปร่างคล้ายลิ่ม (wedge-shaped) หรือ เลนส์ (lens-shaped) เรียกว่า lenticular nucleus สำหรับขอบเขตของ globus pallidus มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ด้านนอก (lateral surface) แยกออกจาก putamen ด้วยแถบขาวของ white matter เรียกว่า external medullary laminar

2) ด้านใน (medial surface) แยกออกจาก thalamus ด้วย posterior limb ของ internal capsule

สำหรับโครงสร้างของ globus pallidus สามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ internal segment หรือ medial segment และ outer segment หรือ lateral segment ซึ่งแยกออกจากกันด้วยแถบขาวของ white matter เรียกว่า internal medullary laminar (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 แสดงโครงสร้างของ basal ganglia ซึ่ง globus pallidus สามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน คือ internal segment และ external segment ซึ่งแยกออกจากกันด้วยแถบขาวของ white matter เรียกว่า internal medullary laminar (ที่มา Waxman, 2003)

1.4 Subthalamus

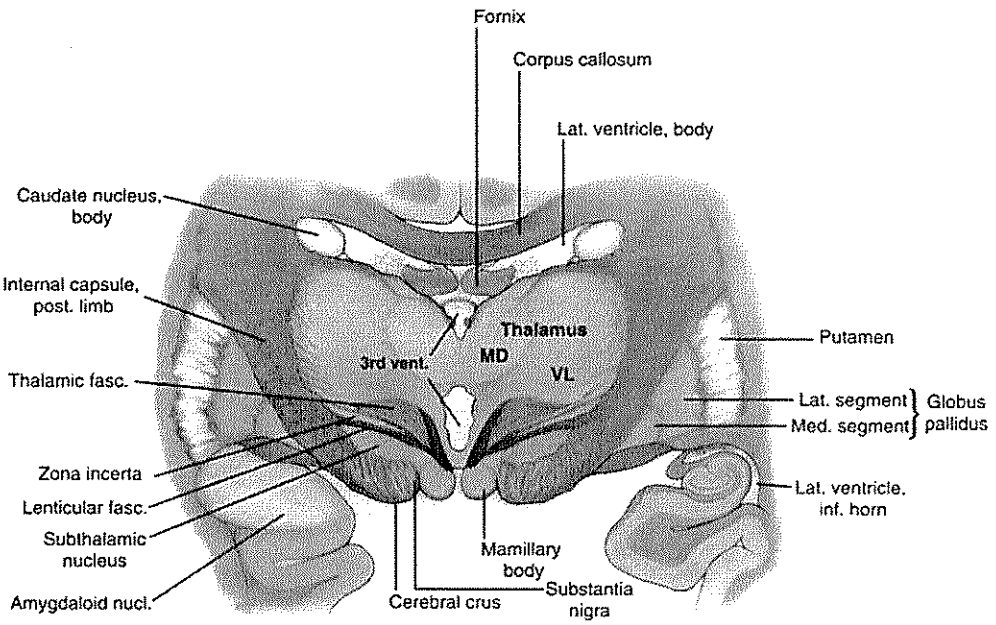
Dienthalamus ประกอบด้วย thalamus, epithalamus, hypothalamus และ subthalamus โดย subthalamus มีความสัมพันธ์กับโครงสร้างอื่นๆ ดังต่อไปนี้ 1) Hypothalamus วางตัวอยู่ทางด้าน medial และ rostral, 2) Internal capsule วางตัวอยู่ทางด้าน lateral และ 3) Substantia nigra วางตัวอยู่ทางด้าน ventromedial ต่อ subthalamus

Subthalamus ประกอบด้วย 3 nucleus ได้แก่ subthalamic nucleus, nucleus zona incerta และ prerubral field (รูปที่ 5) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) Subthalamic nucleus หรือ body of Luys มีลักษณะ biconvex ซึ่งจัดเป็นส่วนหนึ่งของ cerebral crus

2) Zona incerta เป็นกลุ่ม gray matter ซึ่งวางตัวอยู่ทางด้านบนต่อกลุ่มเส้นใยประสาท เรียกว่า fasciculus lenticularis (filed H2)

3) Prerubral filed วางตัวอยู่ทางด้าน medial ต่อ red nucleus ของ midbrain



รูปที่ 5 แสดงโครงสร้างของ subthalamus ซึ่ง subthalamic nucleus และ zona incerta แยกออกจากกันด้วย fasciculus lenticularis (ที่มา Young และคณะ, 2007)

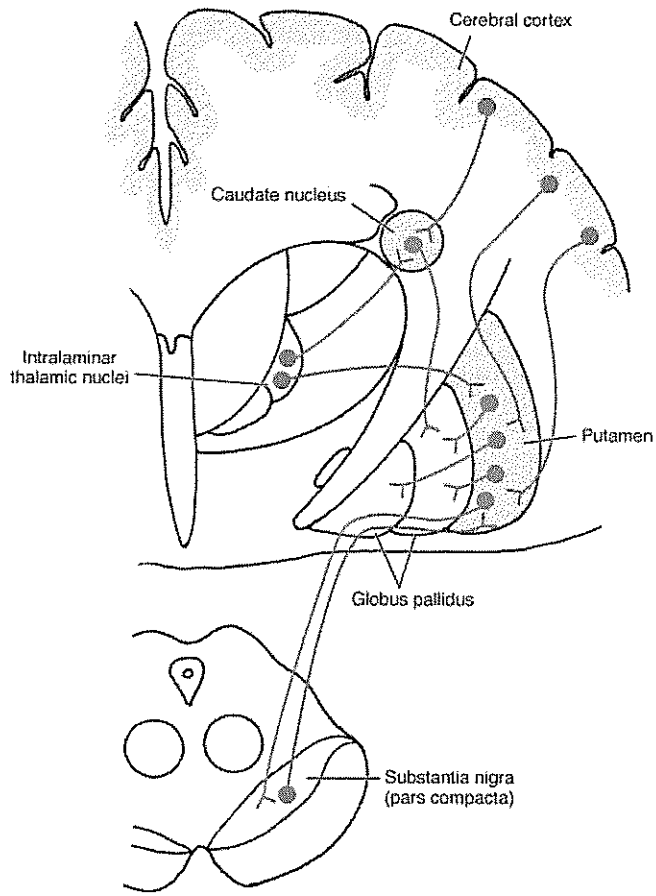
1.5 Substantia nigra

Substantia nigra เป็นกลุ่ม nucleus ที่ขนาดใหญ่ที่สุดของ midbrain ซึ่งประกอบด้วย 2 nucleus ย่อย ได้แก่ 1) compacta part และ 2) reticularta part โดย compacta part ประกอบด้วยเซลล์ประสาทที่มี melanin pigment จึงทำให้บริเวณนี้มองด้วยตาเปล่าจะเห็นเป็นสีดำ สำหรับ reticulata part วางตัวอยู่ทางด้าน rostral กว่า compacta part

2. การติดต่อระหว่าง basal ganglia และโครงสร้างอื่น ๆ

2.1 การนำข้อมูลเข้าสู่ basal ganglia (Input information)

ข้อมูลที่ส่งมายัง basal ganglia ส่วนใหญ่มายัง striatum (caudate และ putamen) เนื่องจากข้อมูลที่นำเข้ามาสู่ basal ganglia มาจากหลายแหล่ง ดังนั้นกลุ่มของเส้นใยประสาทจึงมีชื่อเรียกที่แตกต่างกัน ได้แก่ cerebral cortex เรียกว่า corticostriatal fiber, thalamus เรียกว่า thalamostriatal fiber, subthalamus เรียกว่า subthalamopallidal fiber, substantia nigra เรียกว่า nigrostriatal fiber และข้อมูลที่มีการแลกเปลี่ยนภายในระหว่าง basal ganglia ด้วยกันเอง (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 แสดงข้อมูลขาเข้าและขาออกของ striatum ซึ่งได้รับมาจาก cerebrum, thalamus และ substantia nigra (ที่มา Kiernan, 2009)

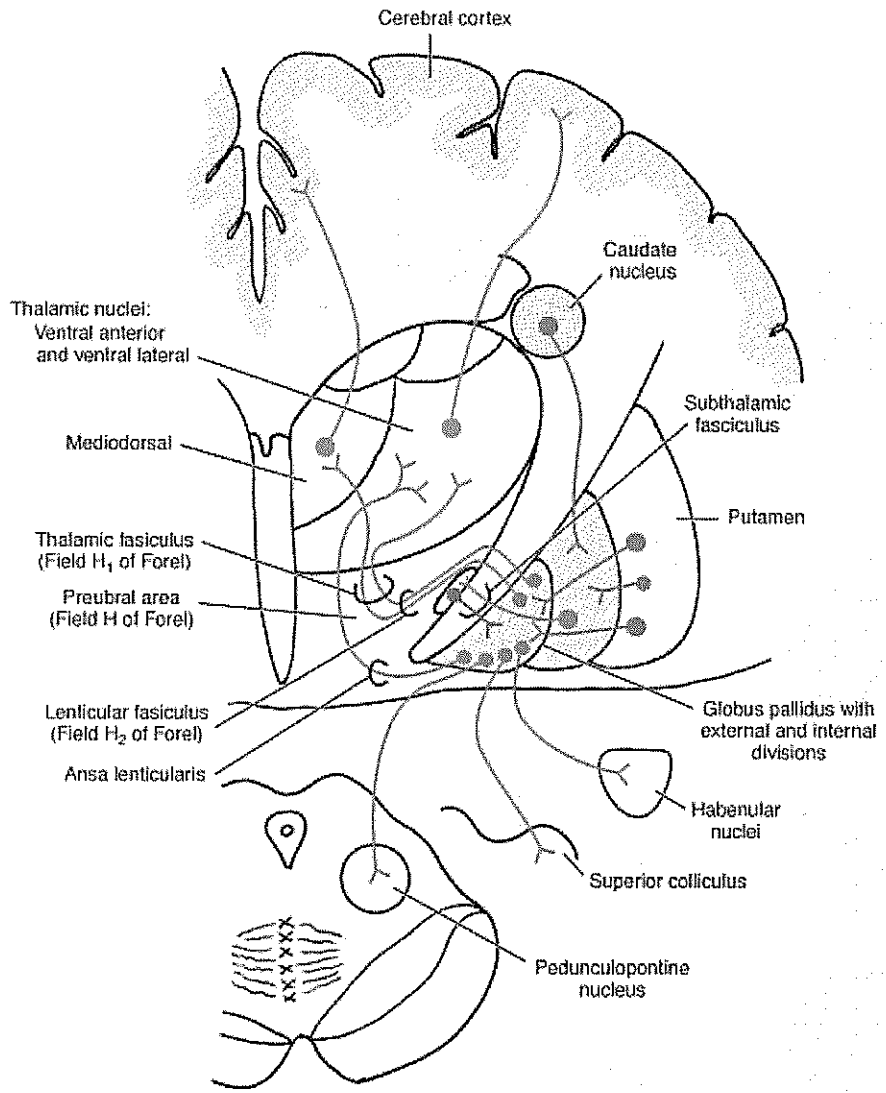
สำหรับกลุ่มของเส้นใยประสาทที่นำข้อมูลมาจาก cerebral cortex ส่งมายัง striatum (caudate และ putamen) สามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่ม คือ ข้อมูลจาก primary motor cortex (Brodmann's area 4), primary sensory cortex (Brodmann's area 3 1 2) จะส่งมายัง putamen และข้อมูลจาก premotor cortex (Brodmann's area 6) และ sensory association area (Brodmann's area 5 and 7) ถูกส่งมายัง caudate nucleus

2.2 การนำข้อมูลออกจาก basal ganglia (Output information)

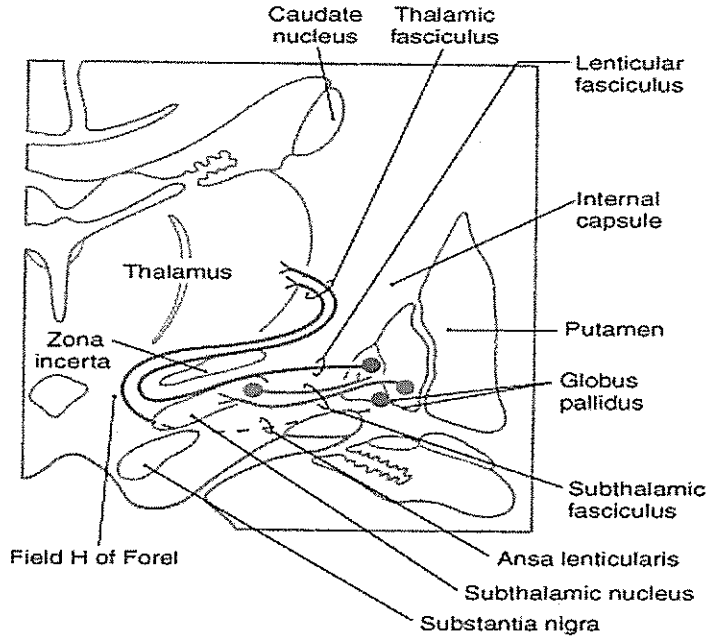
ข้อมูลจาก striatum จะส่งต่อไปยัง globus pallidus เรียกว่า striatopallidal fiber ซึ่ง nerve fiber ส่วนใหญ่ส่งไปยัง external segment และ nerve fiber ส่วนน้อยไป internal segment เพราะ nerve fiber จาก external segment จะส่งต่อไปยัง internal segment ตามลำดับ สำหรับ nerve fiber จาก internal segment จะส่งออกไปยังโครงสร้างอื่นๆ ต่อไป ได้แก่ 1) thalamus คือ ventral anterior nucleus

(VA), ventral lateral nucleus (VL) และ centromedial nucleus (CM), 2) substantia nigra และ 3) subthalamic nucleus (รูปที่ 7)

กลุ่มเส้นใยประสาทที่ออกจาก internal segments ของ globus pallidus จัดอยู่เป็นส่วนหนึ่งของกลุ่ม field of Forel ซึ่งวางอยู่ทางด้านหน้าต่อ red nucleus ของ midbrain โดย field of Forel แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) filed H หรือ prerubral field วางตัวอยู่ทางด้าน ventromedial, 2) field H1 หรือ thalamic fasciculus วางตัวอยู่ทางด้าน dorsomedial และ filed H2 หรือ lenticular fasciculus วางตัวอยู่ทางด้าน ventromedial (รูปที่ 8)



รูปที่ 7 แสดงข้อมูลขาเข้าและขาออกของ pallidum ซึ่งส่วนใหญ่เป็นข้อมูลที่ออกจาก globus pallidus (ที่มา Kiernan, 2009)

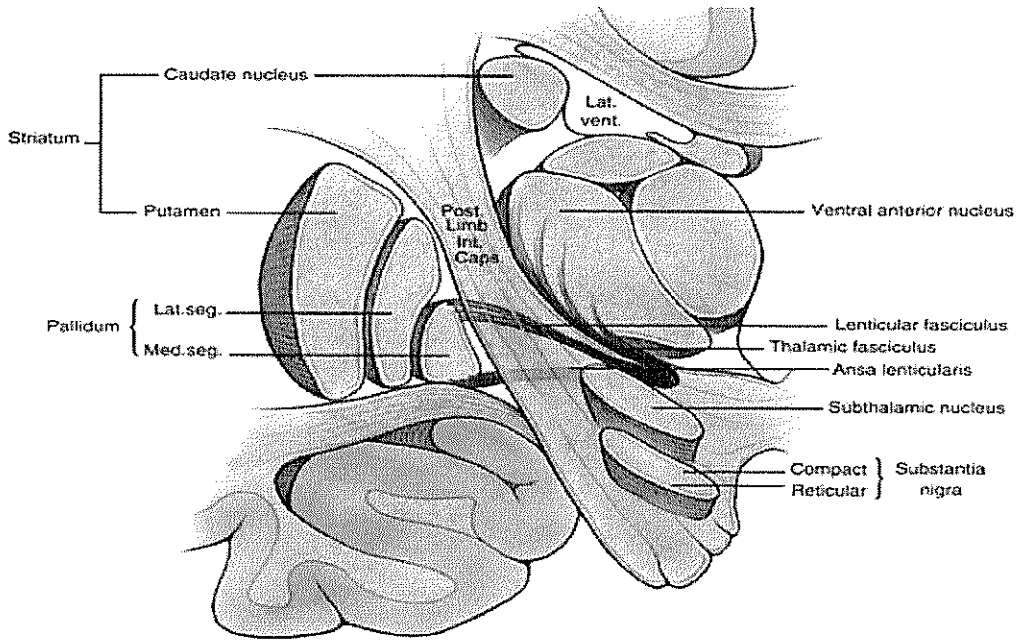


รูปที่ 8 แสดงกลุ่มเส้นใยประสาท field of Forel ประกอบด้วย filed H, thalamic fasciculus (field H1), และ lenticular fasciculus (field H2) (ที่มา Haines, 2008)

Lenticular fasciculs (field H2) คือ กลุ่มเส้นใยประสาทที่ออกจาก internal segment ของ globus pallidus และวิ่งข้าม posterior limb ของ internal capsule ซึ่งไปรวมกับ ansa lentricularis กลายเป็น prerubral field (field H)

สำหรับ ansa lenticularis คือ กลุ่มเส้นใยประสาทที่ออกจาก internal segment ของ globus pallidus และวิ่งอ้อมทางด้านหน้า posterior limb ของ internal capsule ซึ่งไปรวมกับ lenticular fasciculus (field H2) กลายเป็น prerubral field (field H)

กลุ่มเส้นใยประสาท prerubral field (field H) เดินทางต่อเนื่องกลายเป็น thalamic fasciculus (field H1) ซึ่งจะไปสิ้นสุดที่ thalamus (รูปที่ 9)



รูปที่ 9 แสดงกลุ่มเส้นใยประสาท field of Forel ซึ่ง lenticular fasciculus (field H2) ทอดข้าม posterior limb ของ internal capsule และ ansa lenticularis วิ่งอ้อม posterior limb ของ internal capsule และรวมกันกลายเป็น prerubral field (field H) ก่อนเข้าสู่ thalamic fasciculus (field H1) (ที่มา Young และคณะ, 2007)

2.3 การนำข้อมูลเข้าและออกกจาก subthalamic nucleus

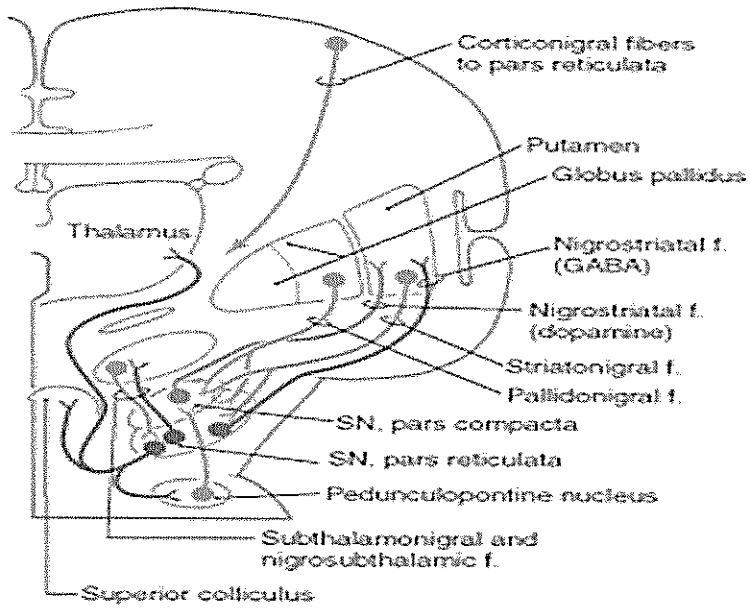
สำหรับข้อมูลจาก subthalamic nucleus สามารถรับข้อมูลจากหลายแหล่ง ได้แก่ 1) lateral segment ของ globus pallidus เรียกว่า pallidosubthalamic fiber, 2) cerebral cortex เรียกว่า corticosubthalamic fiber และ 3) substantia nigra เรียกว่า nigrosubthalamic fiber

สำหรับข้อมูลจาก subthalamic nucleus สามารถส่งกลับมายัง 1) globus pallidus เรียกว่า subthalamopallidal fiber และ 2) substantia nigra เรียกว่า subthalamonigral fiber ซึ่งข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออกของ subthalamic nucleus มีความสำคัญทางด้าน stabilizing circuit partway เรียกว่า indirect partway

2.4 ข้อมูลขาเข้าและขาออกกของ substantia nigra

ข้อมูลจาก reticulata part ของ substantia nigra สามารถส่งออกไป 1) striatum เรียกว่า nigrostriatal fiber, 2) thalamus เรียกว่า nigrothalamic fiber, และ 3) superior colliculus ของ midbrain เรียกว่า nigrotectal fiber โดยข้อมูลที่ส่งออกไปเป็นชนิดยับยั้ง (inhibit) ซึ่งยับยั้งการทำงานของโครงสร้าง

ปลายทาง (target) โดยมีความสำคัญทางด้าน stabilizing circuit partway เรียกว่า indirect partway เช่นเดียวกับ subthalamic nucleus (รูปที่ 10)



รูปที่ 10 แสดงกลุ่มเส้นใยประสาทที่นำข้อมูลทั้งขาเข้าและขาออกของ substantia nigra (ที่มา Haines, 2008)

3. Partway of basal ganglia

การทำงานพื้นฐานของ basal ganglia สามารถแบ่งออกเป็น 2 วงจร ได้แก่ 1) direct pathway และ 2) indirect pathway ซึ่งการทำงานของ direct pathway เป็นการทำงานแบบกระตุ้น (excitatory) การทำงานของ motor system แต่การทำงานของ indirect pathway เป็นการทำงานแบบยับยั้ง (inhibitory) การทำงานของ motor system โดยการทำงานของ 2 วงจร ต้องทำงานควบคู่กันและมีความสมดุลซึ่งกันและกัน ถ้าขาดวงจรใดวงจรหนึ่งจะทำให้เกิดอาการผิดปกติการเคลื่อนไหวของร่างกาย เนื่องมาจากการทำงานที่มากไปหรือน้อยไปของ motor system นั่นเอง

3.1 Direct pathway

1) เริ่มจากข้อมูล cerebral cortex ซึ่งสามารถสร้างสารสื่อประสาท(neurotransmitter) ชนิด glutamate ซึ่งมีฤทธิ์กระตุ้นการทำงานของเซลล์ประสาท (neuron) Glutamate จะถูกส่งออกไปยัง striatum (caudate และ putamen) ผ่านทาง corticostriatal fiber

2) สำหรับเซลล์ประสาทของ striatum สามารถสร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งการทำงานของเซลล์ประสาท GABA จาก striatum จะถูกส่งไปยัง medial segment ของ globus pallidus ผ่านทาง striatopallidal fiber และ substantia nigra (reticulata part) ผ่านทาง striatonigral fiber

3) Direct partway ถูกกระตุ้นด้วย substantia nigra เพราะมีข้อมูลย้อนกลับจาก compacta part ของ substantia nigra มาที่ striatum โดยข้อมูลจาก compacta part เป็นข้อมูลชนิดกระตุ้นการทำงานของ striatum ผ่านทาง D1 receptor ซึ่งส่งผลให้ striatum ทำงานได้มากขึ้น

4) เนื่องจากการทำงานของ medial segment ของ globus pallidus และ reticulata part ของ substantia nigra คือ การสร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA เช่นเดียวกับ striatum ดังนั้น medial segment และ reticulate part จึงถูกยับยั้งการสร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA

5) เมื่อสารสื่อประสาทชนิด GABA จาก medial segment ของ globus pallidus และ reticulata ของ substantia nigra ไม่สามารถมายับยั้งการทำงานของ thalamus ได้ ดังนั้น thalamus จึงสามารถสร้างสารสื่อประสาทชนิด glutamate ไปกระตุ้นการทำงานของ cerebral cortex ได้

6) เมื่อเซลล์ประสาทของ cerebral cortex ถูกกระตุ้นจาก glutamate ที่สร้างมาจาก thalamus จึงส่งคำสั่งผ่านทาง pyramidal tract เพื่อกระตุ้นการทำงานของ lower motor neuron บริเวณ anterior gray horn ของไขสันหลัง Pyramidal tract ที่ถูกส่งมาที่ไขสันหลังประกอบด้วย 2 tract คือ 1) lateral corticospinal tract ซึ่งมีการทอดข้ามไปยังด้านตรงข้าม (cross nerve fiber) เพื่อควบคุมการทำงานด้านตรงข้ามของร่างกาย และ 2) anterior corticospinal tract ซึ่งควบคุมการทำงานร่างกายด้านเดียวกับสมอง เพราะเส้นใยประสาทไม่มีการข้ามไปยังด้านตรงข้าม (uncross nerve fiber) (รูปที่ 11)

3.2 Indirect partway

1) ข้อมูลจาก cerebral cortex ส่งมายัง striatum ผ่านทาง corticostriatal fiber ด้วยสารสื่อประสาท คือ glutamate ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดกระตุ้นการทำงานของเซลล์ประสาทของ straitum (caudate และ putamen)

2) เซลล์ประสาทของ striatum ถูกกระตุ้นให้สร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA ซึ่งเป็นสารสื่อประสาทชนิดยับยั้งการทำงาน ซึ่งส่งผ่าน striatopallidal fiber เพื่อยับยั้งการทำงานของ external segment ของ globus pallidus

3) External segment ของ globus pallidus ถูกยับยั้งการทำงาน จึงไม่สามารถสร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA เพื่อไปยับยั้งการทำงานของ subthalamic nucleus ซึ่งส่งผ่าน pallidosubthalamic fiber

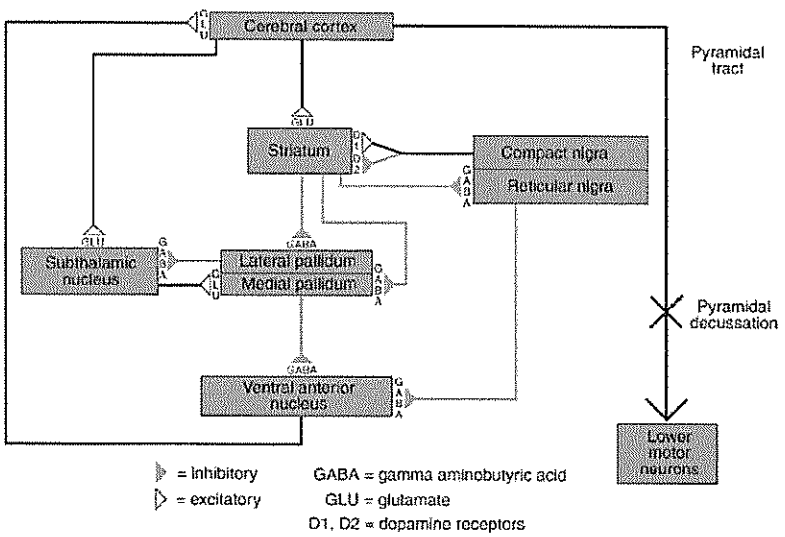
4) Subthalamic nucleus ไม่ถูกยับยั้งการทำงานจาก external segment จึงสามารถสร้างสารสื่อประสาทชนิด glutamate เพื่อกระตุ้นการทำงานของ internal segment ของ globus pallidus ซึ่งส่งผ่านทาง subthalamopallidal fiber

5) Internal segment ของ globus pallidus ถูกกระตุ้นให้สร้างสารสื่อประสาทชนิด GABA เพื่อยับยั้งการทำงานของ thalamus ซึ่งส่งผ่านทาง pallidothalamic fiber

6) Thalamus ถูกยับยั้งการทำงาน จึงไม่สามารถสร้างสารสื่อประสาทชนิด glutamate เพื่อกระตุ้นการทำงานเซลล์ประสาทของ cerebral cortex ได้

7) เซลล์ประสาทของ cerebral cortex จึงไม่สามารถส่งคำสั่งผ่าน corticospinal tract เพื่อให้ lower motor neuron ของ anterior gray horn ในไขสันหลังทำงานได้

8) Indirect partway ถูกยับยั้งการทำงานจาก substantia nigra เพราะมีข้อมูลย้อนกลับมาที่ striatum โดยข้อมูลจาก compacta part เป็นข้อมูลชนิดยับยั้งการทำงานของ striatum ผ่านทาง D2 receptor ซึ่งส่งผลให้ striatum ทำงานได้ลดลง (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 แสดงวงจรการทำงานของ basal ganglia แบบ direct pathway และ indirect pathway (ที่มา Young และคณะ, 2007)

เอกสารอ้างอิง

1. Kiernan JA. The Human Nervous System. 9th etdition; Philadephia: Lippincott Williams; 2009
2. Young PA., Young PH., Tolbert DL. Basic Clinical Neuroscience. 2nd edition, Philadephia: Lippincott Williams; 2008
3. Haines DE. Neuroanatomy. 7th edition, Philadephia: Lippincott Williams; 2008
4. Fix JD. Neuroanatomy. 4th edition, Philadephia: Lippincott Williams; 2007
5. FitzGerald MJT., Gruener G., Mtui E. Clinical Neuroanatomy and Neuroscience. 5th edition, Elsevier Saunders; 2007
6. Patestas MA, Gartner LP. A textbook of neuroanatomy. 1st edition; Blackwell publishing; 2006
7. Waxman SG. Clinical Neuroanatomy. 25th edition, New York: McGraw-Hill, 2003
8. Felten DL., Shetty AN. NETTER'S ATLAS OF NEUROSCIENCE. 2nd edition; Elsevier Saunders; 2009