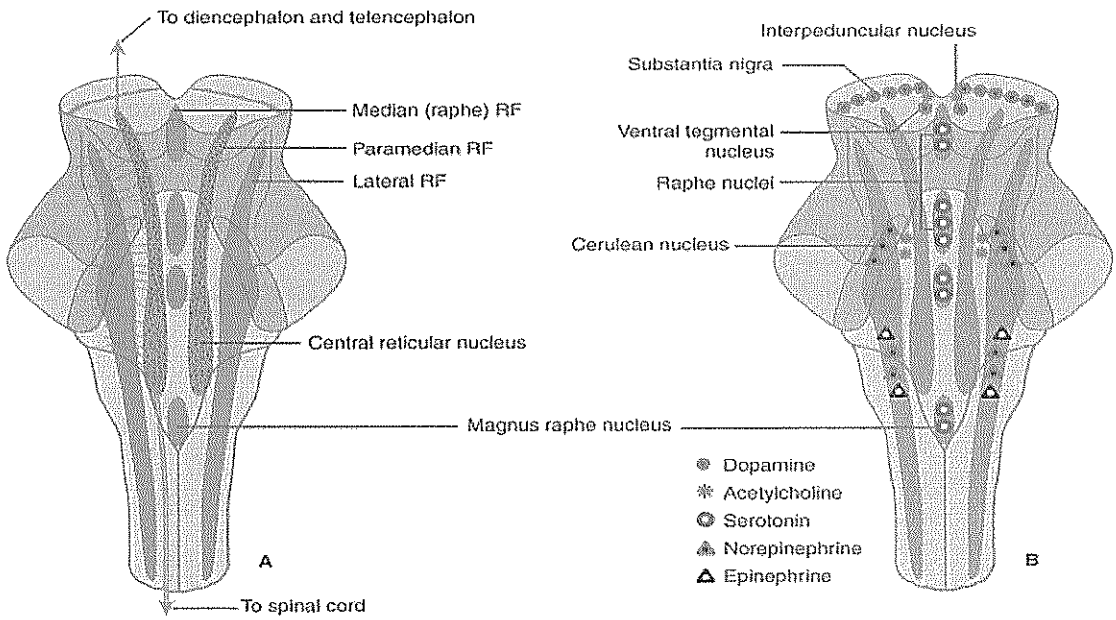
45 ผ.ศ.อภิชาติ (ต่อ.)

เอกสารคำสอน

เรื่อง ประสาทกายวิภาคศาสตร์ของ Reticular Formation System



ผศ. ดร.อภิชาติ เงินสูงเนิน

สาขาวิชากายวิภาคศาสตร์

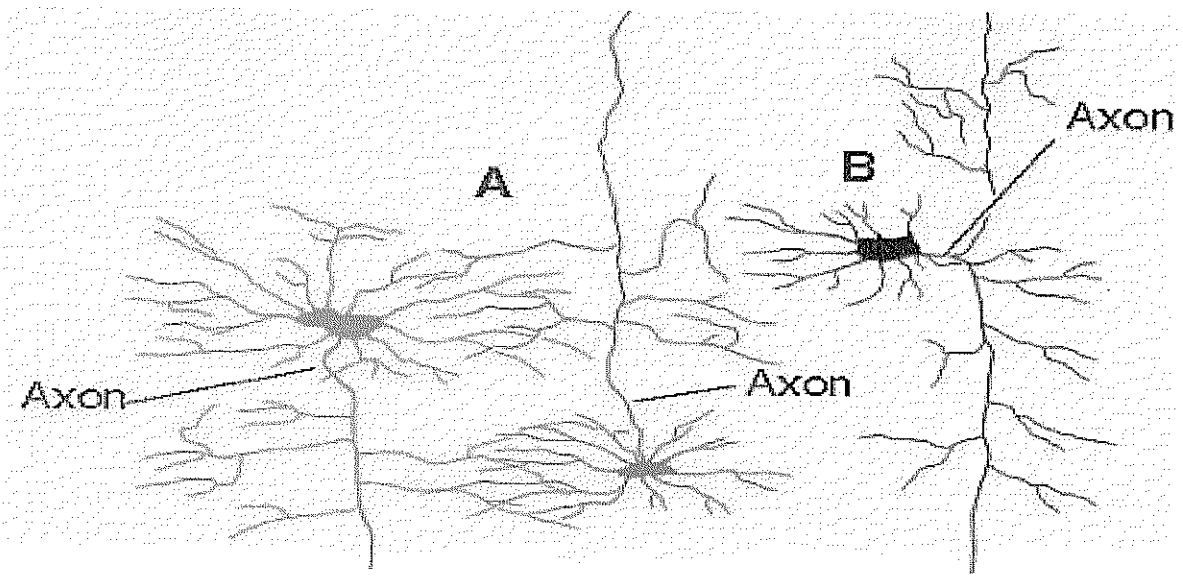
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประสาทกายวิภาคศาสตร์ของ Reticular formation

Reticular formation คือ กลุ่มของเซลล์ประสาทที่อยู่กลางก้านสมอง (brainstem) ได้แก่ midbrain, pons และ medulla oblongata ซึ่งกลุ่มของเซลล์ประสาทเหล่านี้ถูกล้อมรอบด้วย motor และ sensory neurons โดยชื่อของ reticular formation หมายถึง การอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น ซึ่งตั้งตามลักษณะของ cell body, axon และ dendrite ของเซลล์ประสาทเหล่านี้ที่สานกันไปมาอย่างไม่เป็นระเบียบ หน้าที่หลักของ reticular formation สามารถจัดออกเป็น 7 กลุ่มหลัก ได้แก่ 1) เกี่ยวข้องกับ reflex ที่เกิดจากการทำงานของเส้นประสาทสมอง (cranial nerve reflex), 2) ควบคุมการรับรู้ความเจ็บปวดชนิดช้า (slow pain), 3) ควบคุมการเคลื่อนไหว (voluntary movement), 4) ควบคุมการทำงานของเซลล์ประสาทอัตโนมัติ (autonomic nuclei), 5) ควบคุมการทำงานของระบบหายใจและการนอนหลับ (respiration and sleep), 6) กระตุ้นการทำงานของ cerebral cortex และ 7) เกี่ยวข้องกับ diffuse modulating system

เซลล์ประสาทของ reticular formation มีลักษณะที่เฉพาะดังต่อไปนี้ 1) cell body สามารถแยกให้ axon ซึ่งมีขาขึ้น (ascending axon) หรือขาลง (descending axon) มีแขนง (collateral branch) แยกออกมาจำนวนมาก และ 2) cell body แยกให้ primary axon และค่อยแตกแขนงเป็น ascending axon และ descending axon ซึ่งต่างก็ให้ collateral branch มากมายเช่นเดียวกัน (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของเซลล์ประสาทที่พบใน reticular formation ซึ่ง ascending axon และ descending axon สามารถแยกออกมาจาก cell body โดยตรง หรือแยกออกมาเป็น primary axon ก่อน แล้วค่อยแยกเป็น ascending axon และ descending axon (ที่มา Kiernan; 2009)

1. กลุ่มเซลล์ประสาทของ reticular formation

กลุ่มของเซลล์ประสาทที่มารวมกันเป็น reticular formation สามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่

1.1 Median zone

เซลล์ประสาทกลุ่มนี้สามารถเรียกได้อีกหลายชื่อ ได้แก่ median column หรือ midline raphe โดยเซลล์ประสาทวางตัวอยู่ในแนว midline ของก้านสมอง ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มของเซลล์ประสาทย่อยๆ ดังต่อไปนี้ 1) **ระดับ midbrain** ประกอบด้วย nucleus raphes dorsalis, dorsal tegmental nucleus, 2) **ระดับ pons** ประกอบด้วย superior centralis nucleus, nucleus raphes pontis และ mucleus raphes magnus, 3) ระดับ **medulla oblongata** ประกอบด้วย nucleus raphes pallidus และ nucleus raphes obsculus เซลล์ประสาทของ median zone ทำหน้าที่สร้างและหลั่ง serotonin โดย axon ของเซลล์ประสาทจะไปที่สมองจะมีความเกี่ยวข้องกับการหลับและการตื่น (sleep) และ axon บางส่วนจะลงไปที่ไขสันหลังบริเวณ posterior gray horn และ spinal trigeminal neurons เพื่อควบคุม (modulate หรือ suppress) การรับรู้ความรู้สึกประเภท nociception (รูปที่ 2)

1.2 Paramedian zone

เซลล์ประสาทกลุ่มนี้สามารถเรียกว่า paramedian column, paramedian reticular nuclei หรือ paramedian reticular nuclear group ได้เช่นเดียวกัน โดย paramedian zone สามารถพบได้เฉพาะระดับ pons และ medulla oblongata เท่านั้น กลุ่มของเซลล์ประสาทย่อยๆ ระดับ pons ประกอบด้วย pontine reticulotegmental nucleus และ paramedian reticular nucleus และระดับของ medulla oblongata สามารถพบเซลล์ประสาทเพียงกลุ่มเดียว คือ paramedian reticular nucleus ข้อมูลขาเข้า (afferent fiber) เซลล์ประสารทได้รับการ synapse จาก cerebral cortex, fastigial และ dentate nuclei ของ cerebellum, vestibular nuclei และ spinal cord สำหรับข้อมูลขาออก (efferent fiber) จะส่งออกไปยัง cerebellum ดังนั้น หน้าที่หลักของ paramedian zone จึงมีความเกี่ยวข้องกับการควบคุมรูปแบบการเคลื่อนไหวของร่างกาย (pattern of movement)

1.3 Medial zone

Medial zone สามารถเรียกได้ คือ medial column, magnocellular reticular formation หรือ central group of reticular nuclei กลุ่มเซลล์ประสาทของ median zone สามารถพบได้เฉพาะ pons และ medulla oblongata เช่นเดียวกับ paramedian zone ซึ่งกลุ่เซลล์ประสาทย่อยที่พบระดับ pons ได้แก่ nucleus reticularis pontis oralis และ nucleus reticularis pontis caudalis สำหรับกลุ่มเซลลีประสาทย่อยที่พบระดับ medulla oblongata ได้แก่ gigantocellular nucleus และ ventral

reticular nucleus กลุ่มเซลล์ประสาทของ medial zone ทำหน้าที่หลักเกี่ยวกับการควบคุมการทำงานของสมองส่วนอื่นๆ ดังนั้นจึงอาจเรียกว่า motor zone หรือ effector zone ซึ่ง nerve fiber ที่ออกจาก medial zone สามารถแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ascending fiber และ descending fiber

บริเวณ central tegmentral tract กลุ่มเส้นใยประสาท ascending fiber มีการข้ามไปยังด้านตรงข้ามเพื่อไป synapse กับ 1) เซลล์ประสาทของ hypothalamus เพื่อทำการควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ (autonomic nervous system) และ 2) intralaminar nuclei ของ thalamus เพื่อควบคุมภาวการณ์ตื่นตัว (arousal) สำหรับกลุ่มเส้นใยประสาท descending fiber จะวิ่งลงไปยังไขสันหลัง ซึ่งระหว่างทางได้รับเส้นใยประสาทของ pontine reticulospinal tract และ medullary reticulospinal tract เข้ามาสมทบ โดยกลุ่มเส้นใยประสาท descending fiber จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ (motor control) ส่วนกลางลำตัว (axial muscle) และกล้ามเนื้อส่วนต้น (proximal part) ของ upper limb และ lower limb

1.4 lateral zone

Lateral zone สามารถเรียกได้ คือ lateral column, parvicellular reticular formation หรือ lateral nuclear group กลุ่มเซลล์ประสาทที่สามารถพบได้ตลอดก้านสมอง ได้แก่ 1) ระดับ midbrain ได้แก่ cuneiform nucleus, parabrachial nucleus และ pedunculopontine nucleus, 2) ระดับ pons ได้แก่ parabranchial nucleus, pedunculopontine nucleus และ parvicellular nucleus และ 3) ระดับ medulla oblongata ได้แก่ pavicellar nucleus การทำงานของ lateral reticular zone จะทำหน้าที่รับข้อมูลและส่งต่อไปยังเซลล์ประสาทกลุ่มอื่น ดังนั้นจึงอาจเรียกว่า sensory zone หรือ motor zone เพราะกลุ่มเซลล์ประสาทที่พบมีลักษณะเป็น small interneuron ซึ่งทำหน้าที่ส่ง nerve fiber ต่อไปยัง motor zone หรือ medial zone เพื่อทำหน้าที่ maintain alertness ไว้

2. การควบคุมการทำงานของ cranial nerve

Reticular formation มีเซลล์ประสาทชนิด interneurons และตำแหน่งค่อนข้างใกล้กับ cranial nerve nuclei ซึ่งสามารถควบคุม reflex activity ของ cranial nerve ได้ โดยกลุ่มของ reticular formation ที่ควบคุมการทำงาน reflex ของ cranial nerve สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 1) ventrolateral reticular formation และ 2) lateral reticular formation การทำงานของ ventrolateral reticular formation จะควบคุมการทำงานของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ reflex ที่ตอบสนองต่อการกลืน (swallowing) การหายใจ (breathing) และการเปลี่ยนแปลงของความดันเลือด (blood pressure) สำหรับการทำงานของ lateral reticular formation

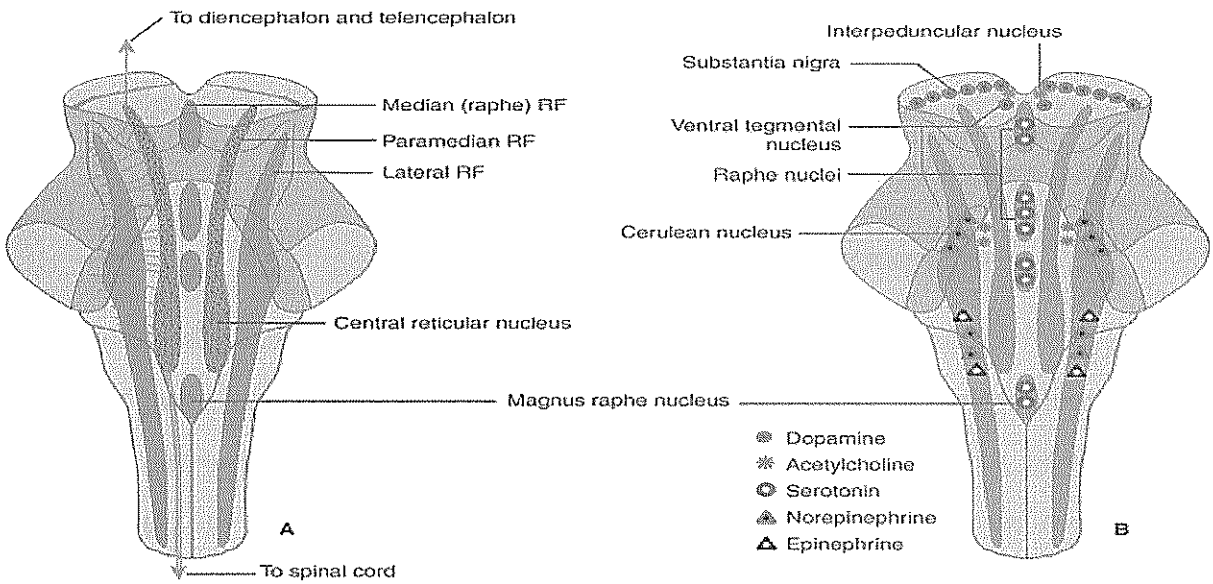
จะทำงานร่วมกับเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 (trigeminal nerve), 7 (facial nerve) และ 12 (hypoglossal nerve) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับการทำงานของกล้ามเนื้อใบหน้าและปาก (รูปที่ 3)

การเคี้ยวอาหาร (chewing) อาศัยการทำงานของกล้ามเนื้อเคี้ยว ลิ้น ริมฝีปาก เพดานอ่อน และ คดหอยส่วนบน ซึ่งกล้ามเนื้อทั้งหมดอยู่ภายใต้อำนาจจิตใจ (voluntary) แต่ขั้นตอนการเคี้ยวนั้น การทำงานของกล้ามเนื้อเป็นการทำงานที่อัตโนมัติ ซึ่งกล้ามเนื้อทำงานของกล้ามเนื้อจะเป็นระบบและมีขั้นตอนที่แน่นอน ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

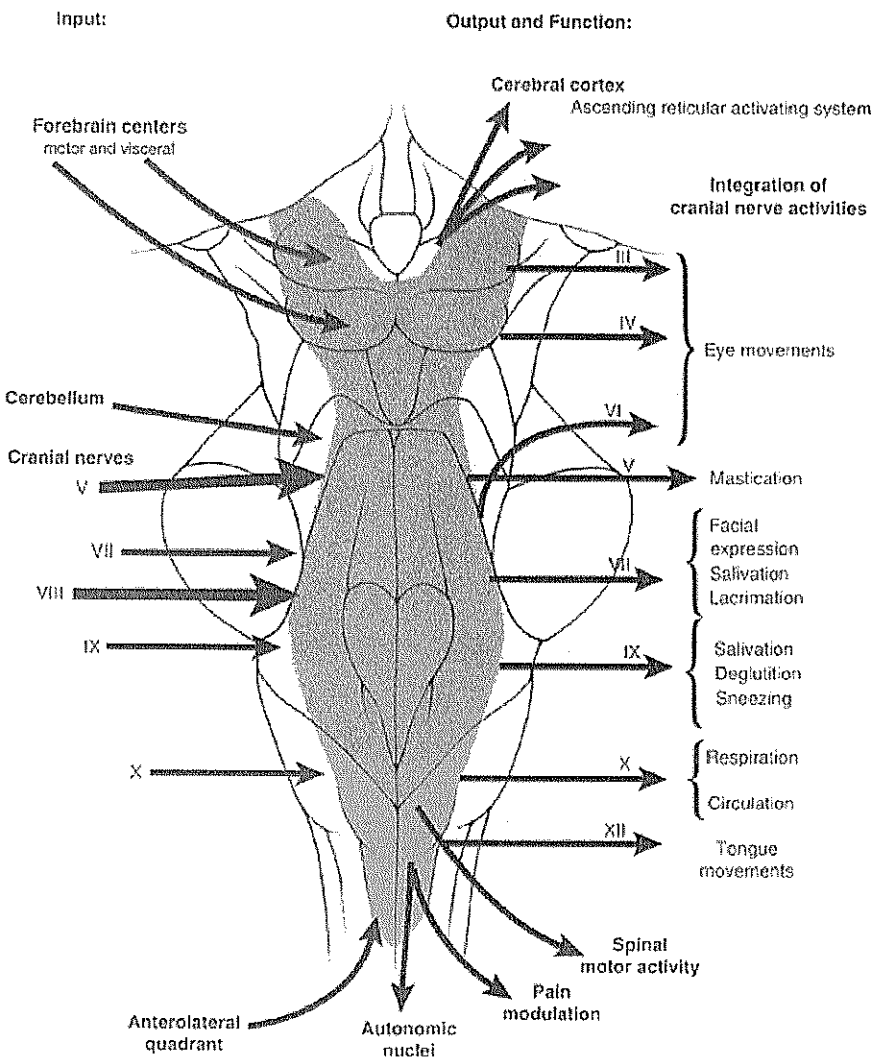
- การเคี้ยวอาหารจะทำให้เกิดข้อมูลเกี่ยวกับ general proprioceptive จากข้อต่อ temporomandibular ฟัน และกล้ามเนื้อเคี้ยว นอกจากนี้ข้อมูลเกี่ยวกับ general sensation จากช่องปาก (oral cavity) เช่น ความร้อนของอาหาร เป็นต้น

- ข้อมูล general proprioception และ general sensation จะถูกส่งต่อไปยัง sensory nucleus ของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 5 (trigeminal nerve)

- ข้อมูลจาก sensory nucleus จะถูกส่งต่อไปยัง motor nucleus ของเส้นประสารทสมองคู่ที่ 5 (trigeminal nerve) เส้นประสาทสมองคู่ที่ 7 (facial nerve) และ reticular formation ข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมเพื่อให้เกิดการทำงานที่ประสานกันขณะเคี้ยวอาหาร ซึ่งทำให้เราไม่กัดลิ้นตัวเอง หรือกลืนอาหารโดยไม่มีอาการสำลักอาหาร



รูปที่ 2 แสดงกลุ่มเซลล์ประสาทย่อยของ reticular formation และ neurotransmitter ที่เซลล์แต่ละกลุ่มสร้างและหลั่งออกมา (ที่มา FitzGerald และคณะ 2007)

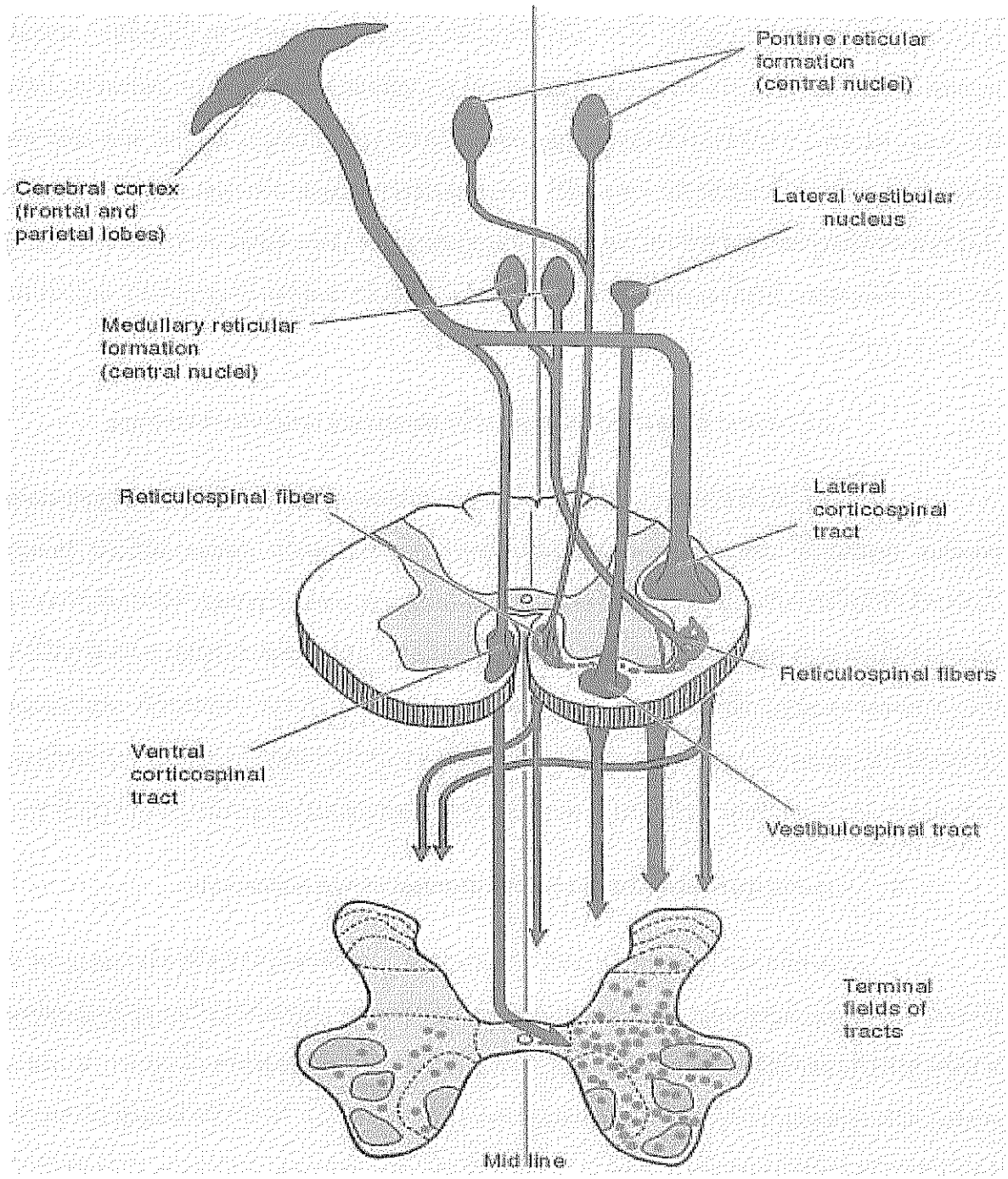


รูปที่ 3 แสดงการทำงานของ reticular formation ซึ่งเกี่ยวข้องกับการทำงานของเส้นประสาทสมอง (ที่มา Young และคณะ 2007)

3. การควบคุมการทำงานของ motor system

การทำงานของ motor system ถูกควบคุมการทำงานด้วย corticoreticular fiber ซึ่งจุดกำเนิดมาจาก premotor cortex และ supplementary motor area ของ cerebrum และ nerve fiber จะมาสิ้นสุดที่ medial zone ของ pontine reticular formation ประกอบด้วย nucleus reticularis pontis oralis และ nucleus reticularis pontis caudalis และ medulla reticular formation คือ gigantocellular nucleus เพื่อทำหน้าที่ควบคุม (modulate) การทำงานของ reticulospinal neurons นอกจากนี้ reticulospinal neurons ยังถูกควบคุมการทำงานจาก central tegmental tract ซึ่งจุดกำเนิดมาจาก basal ganglia, red nucleus และ substantia nigra และมาสิ้นสุดที่ medial zone ของ pontine และ

medulla reticular formation เช่นเดียวกัน สำหรับ axon ของ reticulospinal neurons สามารถแยกออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ 1) pontine reticulospinal tract และ 2) medullary reticulospinal tract (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 แสดงตำแหน่งของ pontine reticular formation และ medullary reticular formation (ที่มา FitzGerald และคณะ 2007)

3.1 Medial reticulospinal tract หรือ Pontine reticulospinal tract

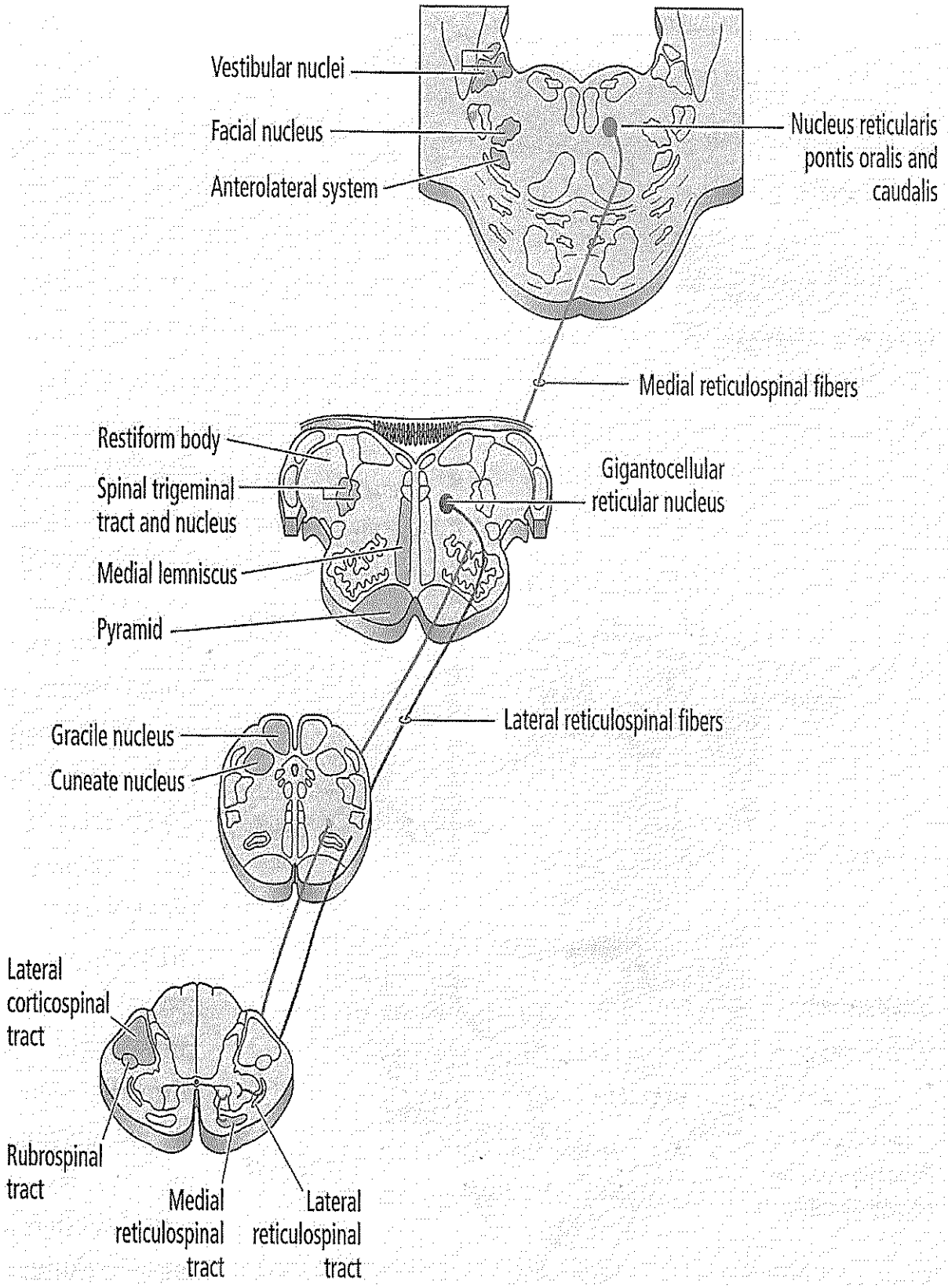
เส้นใยประสาทที่วิ่งออกจาก medial reticulospinal tract มีจุดกำเนิดจาก nucleus reticularis pontis oralis และ nucleus reticularis pontis caudalis และไปสิ้นสุดที่ gamma motor neurons ของไขสันหลังทุกระดับ ซึ่งทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้อเหยียด (extensor muscle group) และยับยั้งการทำงานของกลุ่มกล้ามเนื้องอ (flexor muscle group) ของกล้ามเนื้อกลางตัว (axial muscle) และกล้ามเนื้อส่วนต้น (proximal) ของรยางค์บนและล่าง (upper limb and lower limb) นอกจากนี้เส้นใยประสาทบางส่วนได้ทำการ inhibitory synaptic กับ first order neurons เพื่อป้องกันการส่งสัญญาณประสาทขาเข้าของกล้ามเนื้อกลุ่มดังกล่าวข้างต้น ดังนั้น การทำงานของ pontine reticular formation จึงเป็นการยับยั้ง stretch reflex เพื่อให้การเคลื่อนไหวของร่างกายเป็นไปอย่างราบเรียบ (รูปที่ 5)

3.2 Lateral reticulospinal tract หรือ Medullary reticulospinal tract

เส้นใยประสาทของ lateral reticular formation มีจุดกำเนิดจาก gigantocellular nucleus และสิ้นสุดที่ motor neuron ของไขสันหลังทุกระดับเช่นเดียวกับ medial reticular formation ซึ่งทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อกลุ่มเหยียด (extensor muscle group) แต่กระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อกลุ่มงอ (flexor muscle group) ของกล้ามเนื้อกลางตัว (axial muscle) และกล้ามเนื้อส่วนต้น (proximal muscle) ของรยางค์บนและล่าง (upper and lower limbs) นอกจากนี้ เส้นใยประสาทบางส่วนได้ synapse กับ motor neuron ที่เลี้ยงกล้ามเนื้อส่วนปลาย (distal muscle) ของรยางค์บนและล่าง (upper and lower limbs) เพื่อต้องการความละเอียดในการเคลื่อนไหวของมือและเท้า (รูปที่ 6)

4. การควบคุมการเคลื่อนไหวของตา (Control of eye movement)

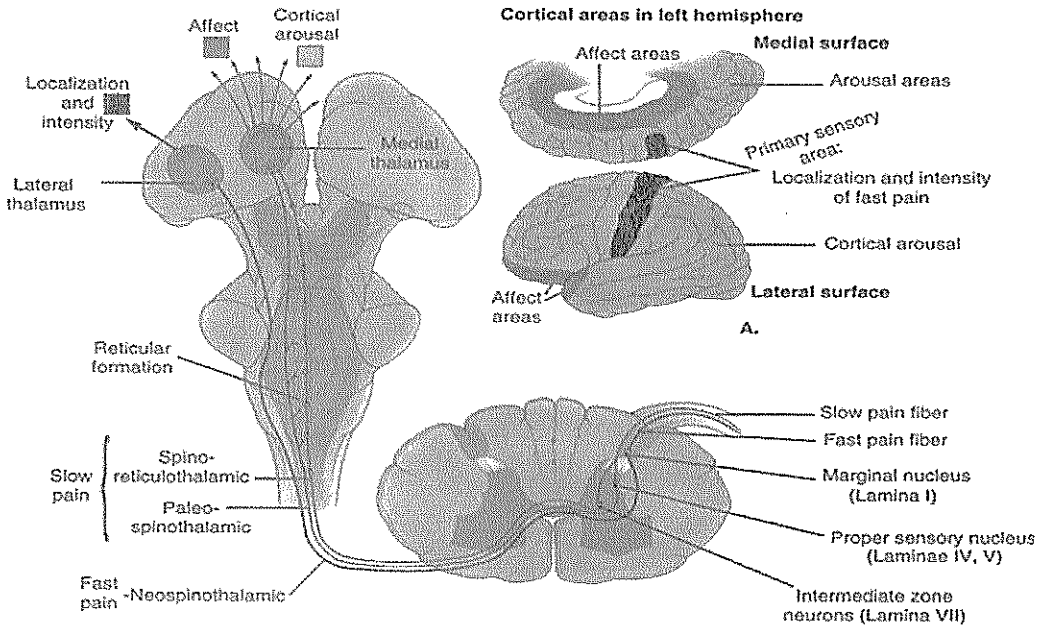
การเคลื่อนไหวของศีรษะในแนว horizontal จะมีผลต่อการเคลื่อนไหวของลูกตาด้วย เรียกว่า conjugate horizontal eye movement เช่น เมื่อศีรษะหันไปทางด้านซ้าย แต่ตาจะเคลื่อนไปทางด้านขวาเพื่อมองวัตถุที่ตาดูครั้งแรก ซึ่งเกิดจากการทำงานร่วมกันของกล้ามเนื้อลูกตา 2 มัด คือ lateral rectus muscle ทางด้านขวา และ medial rectus ทางด้านซ้าย โดยการเคลื่อนไหวดังกล่าวของตาเกิดจาการควบคุมของเซลล์ประสาทจาก medial zone ของ reticular formation ประกอบด้วย 1) ระดับ midbrain คือ nucleus reticularis pontis oralis และ nucleus pontis reticularis caudalis และ 2) ระดับ medulla oblongata คือ gigantocellular nucleus



รูปที่ 6 แสดงจุดกำเนิดและตำแหน่งของ medial และ lateral reticulosspinal tracts ซึ่งสามารถพบได้ที่ midbrain และ pons ตามลำดับ

5. การควบคุมความเจ็บปวด (control of pain sensation)

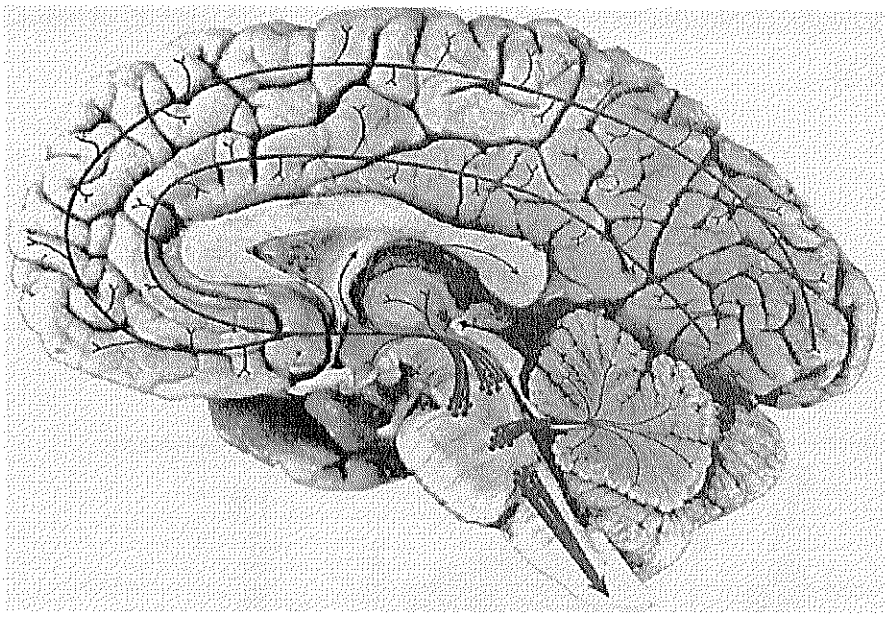
การควบคุมความเจ็บปวดชนิด slow pain ของ reticular formation สามารถกระทำด้วยการ suppress หรือ modulate การส่งส่งสัญญาณประสาทของ first order neurons ไปหา second order neurons ดังนั้น การส่งสัญญาณประสาทไปที่ cerebral cortex จึงถูกควบคุมในระดับนี้ การรับรู้ความเจ็บปวดของร่างกายถูกส่งผ่านมาทาง lateral spinothalamic tract และความรู้สึกเจ็บปวดของใบหน้าจะถูกส่งผ่านมาทาง trigeminothalamic tract ซึ่งระหว่างทางที่ผ่านก้านสมอง tract เหล่านี้จะให้แขนง (collateral branch) ออกไปสิ้นสุดที่ lateral zone ของ reticular formation ซึ่งทำหน้าที่เป็น sensory หรือ afferent zone ของ reticular formation ข้อมูลจาก lateral zone จะถูกส่งต่อไปยัง ascending reticular activating system (ARAS) และสมองส่วนต่างๆ ได้แก่ hypothalamus และ limbic จะทำหน้าที่แสดง พฤติกรรมและอารมณ์เพื่อตอบสนองต่อความเจ็บปวด และการทำงานของอวัยวะภายในที่สอดคล้องกับความเจ็บปวดนั้นๆ นอกจากนี้ข้อมูลยังถูกส่งไปยัง medial zone ของ reticular formation ได้แก่ serotonergic raphe nucleus และ gigantocellular nucleus ด้วยเช่นกัน (รูปที่ 7)



รูปที่ 7 แสดงเส้นทางของ slow pain และ fast pain ซึ่ง slow pain มี collateral branch ไปสู่ reticular formation ก่อนจะเข้าสู่ thalamus (ที่มา Young และคณะ 2007)

Serotonergic raphe nuclei คือ กลุ่มเซลล์ประสาทที่อยู่ midline ของก้านสมอง กลุ่มเซลล์ที่อยู่บริเวณรอยต่อของ medulla oblongata และ pons เรียกว่า nucleus raphe magnus จะให้เส้นใยประสาทไปที่ไขสันหลังเพื่อควบคุม slow pain เส้นใยประสาทที่นำความรู้สึกชนิด slow pain ที่มาจากไขสันหลังมี collateral branch เพื่อ synapse กับ medullary reticular formation สำหรับ

serotonergic raphe nuclei ที่อยู่บริเวณ rostral pons และ midbrain จะให้เส้นใยประสาทไปที่ thalamus, limbic system และ cerebral cortex ซึ่งทำหน้าที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมอารมณ์และพฤติกรรม เช่น พฤติกรรมก้าวร้าว (aggression) เป็นต้น



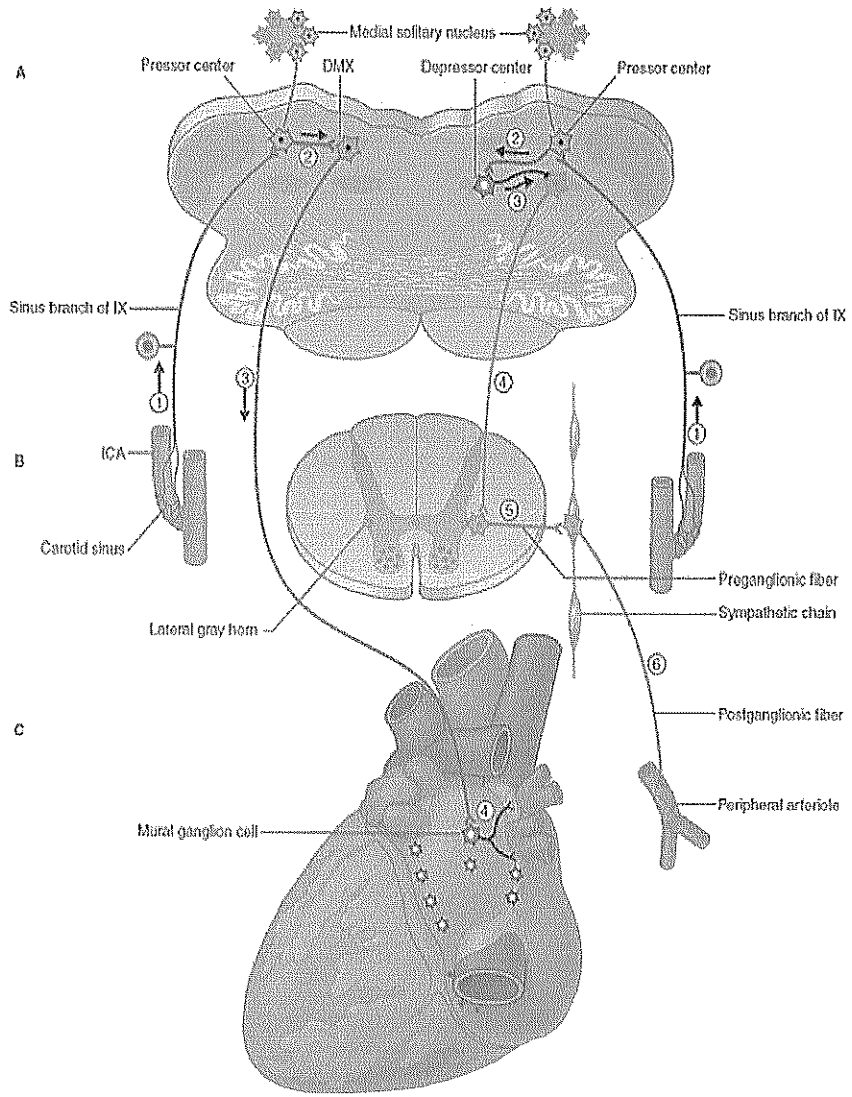
รูปที่ 8 แสดงตำแหน่งของ serotonergic raphe nuclei ซึ่งกลุ่มที่อยู่ระหว่างรอยต่อของ medulla oblongata และ pons มีเส้นใยประสาทไปที่ไขสันหลังเพื่อควบคุม slow pain (ที่มา Young และคณะ 2007)

6. การควบคุมการทำงานของระบบประสาทอัตโนมัติ (Modulation of autonomic nervous system)

เมื่อระดับของความดันเลือดลดลงจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของ carotid sinus ที่อยู่บริเวณโคนของ internal carotid artery ซึ่งสัญญาณประสาทจะถูกส่งไปตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 (glossopharyngeal nerve) และสิ้นสุดที่ ventrolateral medullary reticular formation และ parvicellular nucleus ของ lateral zone โดยเส้นใยประสาทที่ออกจาก nuclei ของ reticular formation จะไปรวมกับ reticulospinal tract เพื่อลงมาที่ไขสันหลัง และ synapse กับ preganglionic sympathetic neurons ที่อยู่บริเวณ intermediolateral column ของไขสันหลัง กลุ่มเซลล์ประสาทของ intermediolateral จะให้เส้นใยประสาทไป synapse กับ postganglionic neurons ที่อยู่ใน sympathetic ganglion เพื่อควบคุมให้หลอดเลือดหดตัวและหัวใจเต้นเร็วมากขึ้น (รูปที่ 9)

เมื่อระดับของความดันเลือดเพิ่มสูงขึ้นจะเป็นการกระตุ้นการทำงานของ carotid sinus และสัญญาณประสาทจะมาตามเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 เหมือนกับความดันเลือดลดลง แต่จะไปสิ้นสุดที่

ventromedial medullary reticular formation ซึ่งเส้นใยประสาทที่ออกจาก reticular formation จะไป synapse ที่ dorsal mortor nucleus ของเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 (vagus nerve) โดย vagus nerve จะให้เส้นใยประสาทออกไป synapse ที่ preganglionic parasympathetic neurons และสุดท้ายจะ synapse ที่ postganglionic neurons ที่ผนังของหัวใจ ซึ่งส่งผลให้หัวใจเต้นช้าลงเพื่อเป็นการลดความดันเลือด (รูปที่ 9)

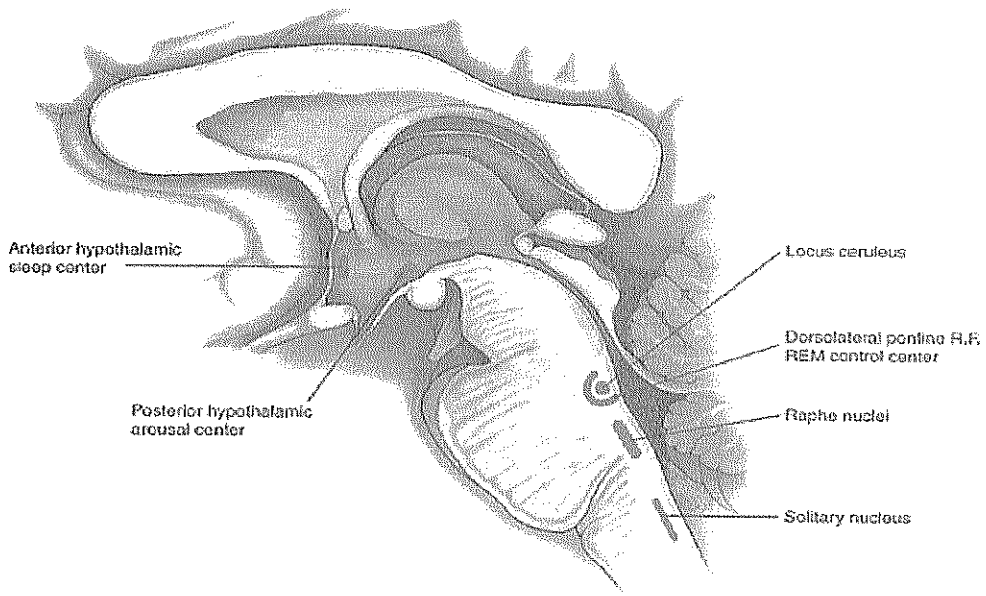


รูปที่ 9 แสดงการควบคุมการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดจาก reticular formation ผ่านทางการทำงานของ sympathetic และ parasympathetic system (ที่มา FitzGerald และคณะ 2007)

7. การควบคุมการนอนหลับ (Control of sleep)

การนอนหลับถูกควบคุมด้วย pontine reticular formation ซึ่งภาวการณ์หลับแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ 1) rapid eye movement (REM) และ 2) non-rapid eye movement (NREM) การหลับ

ในช่วงของ REM เป็นภาวะที่อยู่ในระยะที่ปลุกให้ตื่นได้ยาก ความตึงตัวของกล้ามเนื้อลดลง การเต้นของหัวใจและการหายใจไม่เป็นจังหวะ การเคลื่อนไหวของตาที่เร็ว สมองอยู่ในช่วงที่ทำงานเต็มที่ ซึ่งถ้าตรวจด้วย EEG จะได้เป็น asynchronous pattern กลุ่มเซลล์ประสาทที่ทำหน้าที่ควบคุม REM คือ dorsolateral pontine reticular formation สำหรับการนอนในช่วง NREM จะไม่มีลักษณะของการเคลื่อนของตาที่เร็วเหมือน REM ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ระยะ คือ 1ระยะที่ 1 คือ ระยะที่ปลุกง่าย, ระยะที่ 2-3 คือ ระยะหลับลึก ซึ่งลักษณะของ EEG จะได้ synchronous pattern และระยะที่ 4 คือ ระยะที่ blood pressure, pulse rate, respiratory rate, และอัตราการใช้ O2 ของสมองจะต่ำ การนอนหลับระยะ NREM จะถูกควบคุมด้วยสมองหลายส่วน ได้แก่ anterior hypothalamic และ solitary nucleus การทำงานของ anterior hypothalamus เป็น sleep center ซึ่งจะยับยั้งการทำงานของ posterior hypothalamus ซึ่งเป็น arousal center (รูปที่ 10)

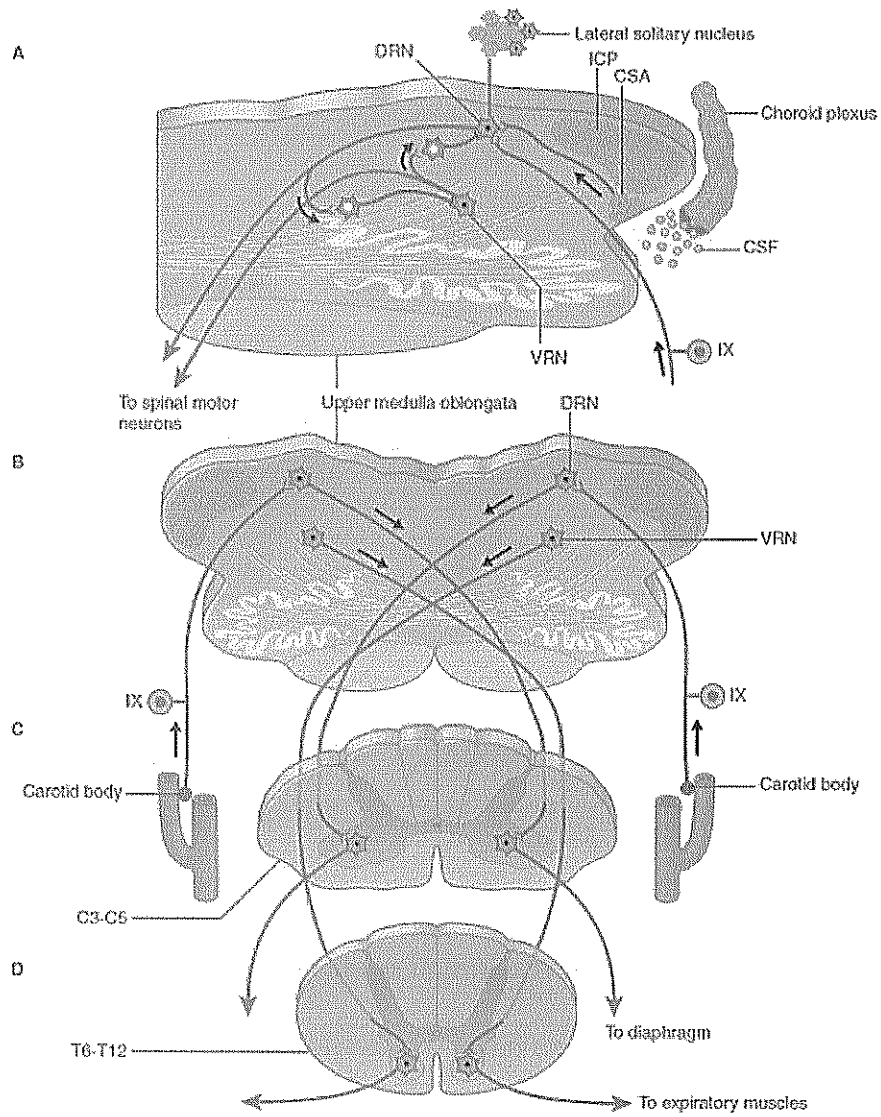


รูปที่ 9 แสดงศูนย์ควบคุมการหลับ ซึ่งการหลับระยะ REM ถูกควบคุมด้วย dorsolateral pontine reticular formation และการหลับระยะ NREM ถูกควบคุมด้วย anterior hypothalamus (ที่มา Young และคณะ 2007)

8. การควบคุมการหายใจ (Control of respiration)

การหายใจเป็น viscerosomatic reflex ซึ่งสามารถถูกควบคุมด้วยศูนย์ที่อยู่บริเวณก้านสมองและ forebrain โดย lower motor neurons ที่ทำหน้าที่ควบคุมการหายใจเข้าอยู่ที่ไขสันหลัง ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ระดับ ได้แก่ 1) ระดับ cervical คือ C3-C5 ผ่านมาทาง phrenic nerve และระดับ thoracic คือ T1-T10 ผ่านมาทาง intercostal nerve

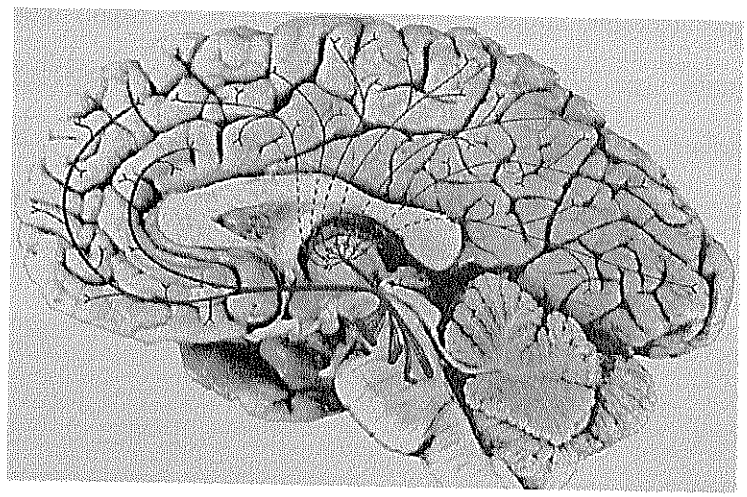
สำหรับศูนย์ที่ควบคุมการหายใจเข้า (inspiration) เรียกว่า respiratory center ซึ่งอยู่ที่ ventrolateral medullary reticular formation และตำแหน่งอยู่ที่ caudal part ของ fourth ventricle โดย respiratory center จะได้รับข้อมูลจาก carotid body ซึ่งเป็น chemoreceptor ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงของระดับ O2 และเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 จะนำข้อมูลมาสู่ respiratory center อีกทอดหนึ่ง สำหรับการหายใจออกจะถูกควบคุมด้วย pneumotaxic center ซึ่งอยู่ที่ dorsolateral tegmentum ของ pons โดยศูนย์นี้จะทำหน้าที่ยับยั้งการทำงานของ inspiratory phase ของการหายใจ เพื่อป้องกันการขยายของปอดที่มากเกินไป ซึ่งช่วยทำให้เกิดกระบวนการสลับกันระหว่างหายใจเข้าและออกอย่างคงที่ (รูปที่ 11)



รูปที่ 10 แสดงศูนย์ควบคุมการหายใจ ซึ่งข้อมูลของระดับ O2 จะถูกตรวจสอบด้วย carotid body และส่งไปกับเส้นประสาทสมองคู่ที่ 9 เพื่อส่งไปยัง reticular formation (ที่มา FitzGerald และคณะ 2007)

9. การควบคุมการรู้สึกตัว (Control of consciousness)

การกระตุ้นการทำงานของสมองให้มีภาวะตื่นตัวจะอาศัยการทำงานของ ascending reticular system (ARAS) ของ reticular formation ซึ่งจะคอยกระตุ้นการทำงานของ sensory ต่างๆ เช่น การมองเห็น การได้ยิน เป็นต้น โดยทางเดินของเส้นใยประสาทของ ARAS จะผ่านทาง paramedian midbrain reticular formation ซึ่งสามารถแยกออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ 1) dorsal route ซึ่งจะส่งเส้นใยประสาทไปสิ้นสุดที่ intralaminar nuclei และ nuclei อื่นๆ ของ thalamus เพื่อส่งต่อไปยัง cerebral cortex และ 2) ventral route ซึ่งส่งเส้นใยประสาทไปยัง lateral hypothalamic zone (รูปที่ 11)



รูปที่ 11 แสดงการกระจายข้อมูลขาออกของ ascending reticular activating system (ที่มา Young และคณะ 2007)

10. Diffuse modulating system

กลุ่มของเซลล์ประสาทของ reticular formation สามารถสร้างสร้างสารสื่อประสาท (neurotransmitter) เพื่อทำหน้าที่กระตุ้นการทำงานของระบบประสาทส่วนอื่นๆ เรียกว่า diffuse modulating system ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ 1) locus ceruleus, raphe และ ventral tegmental tract และ 3) basal nucleus of Meynert คุณลักษณะที่เฉพาะของเซลล์ประสาทที่จัดอยู่ในระบบนี้มีดังต่อไปนี้

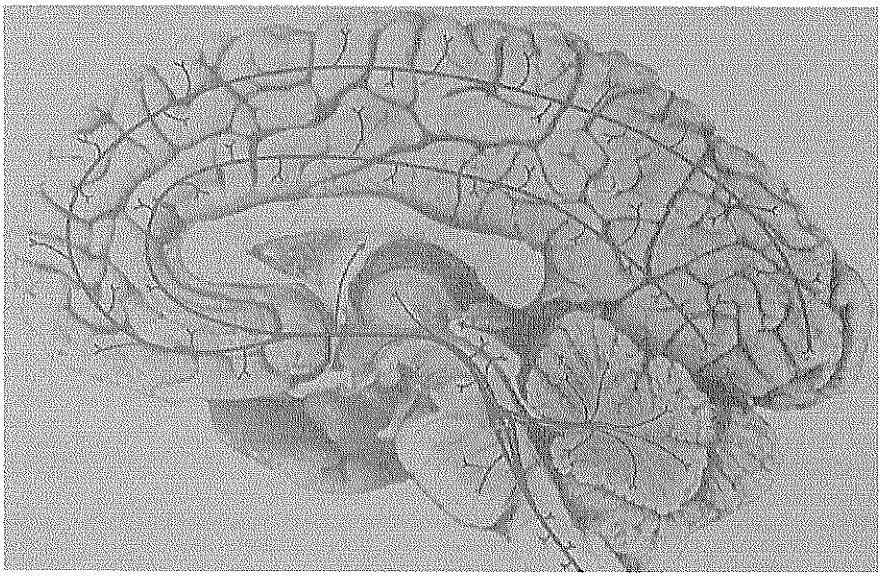
- จำนวนของเซลล์ประสาทมีจำนวนน้อยประมาณ 10,00-15,000 เซลล์
- Axon ของแต่ละเซลล์สามารถยื่นยาวไปได้ระยะทางไกลๆ ซึ่งระหว่างทางสามารถแตกแขนงเพื่อ synapse กับเซลล์อื่นๆ ประมาณ 100,000 เซลล์

- สารสื่อประสาทจะถูกหลั่งออกมาเป็น extracelluar fluid ซึ่งสามารถกระจายไปสู่เซลล์ประสาทได้อีกจำนวนมาก

10.1 Noradrenergic Locus ceruleus

กลุ่มเซลล์ประสาท Locus ceruleus สามารพบได้บริเวณ lateral part ของ floor ของ fourth ventricle ซึ่งเซลล์สามารถสร้าง melanin pigment ได้ ดังนั้น เซลล์ที่มองเห็นจึงมีลักษณะเป็นสีดำ สำหรับหน้าที่ของเซลล์ในกลุ่ม Locus ceruleus จะสร้าง catecholamine คือ noradrenalin

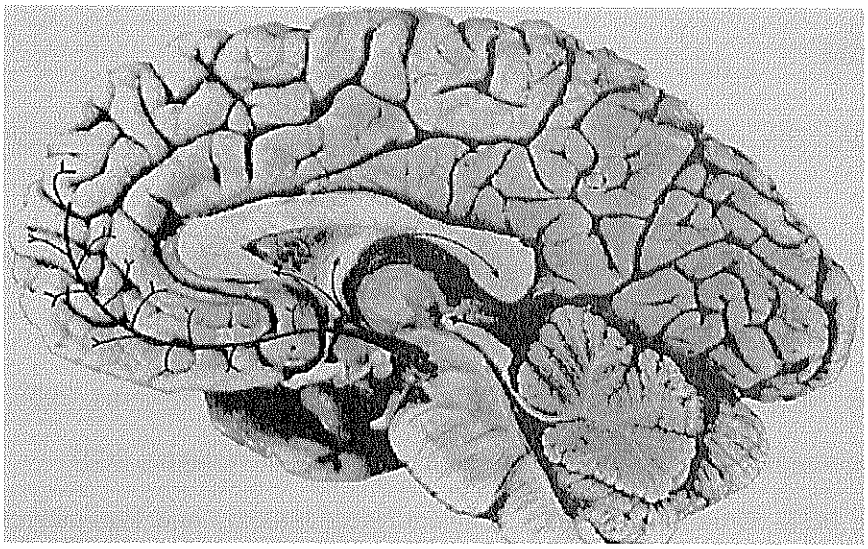
ข้อมูลขาเข้าของ Locus ceruleus จะได้รับมาจาก raphe nuclei, hypothalamus, cerebrum, amygdale และ cingulate gyrus ส่วนข้อมูลขาออกจะส่งไปที่ cerebral cortex, thalamus, hypothalamus, cerebellum, brainstem และ spinal cord โดยหน้าที่ของ Locus ceruleus จะควบคุม attension, cortical arousal, sleep-wake cycle, learning และ memory, anxiety และ mood (รูปที่ 12)



รูปที่ 12 แสดงการกระจายของข้อมูลขาออกของ noradrenergic Locus ceruleus (ที่มา Young และคณะ 2007)

10.2 Dopaminergic ventral tegmental area

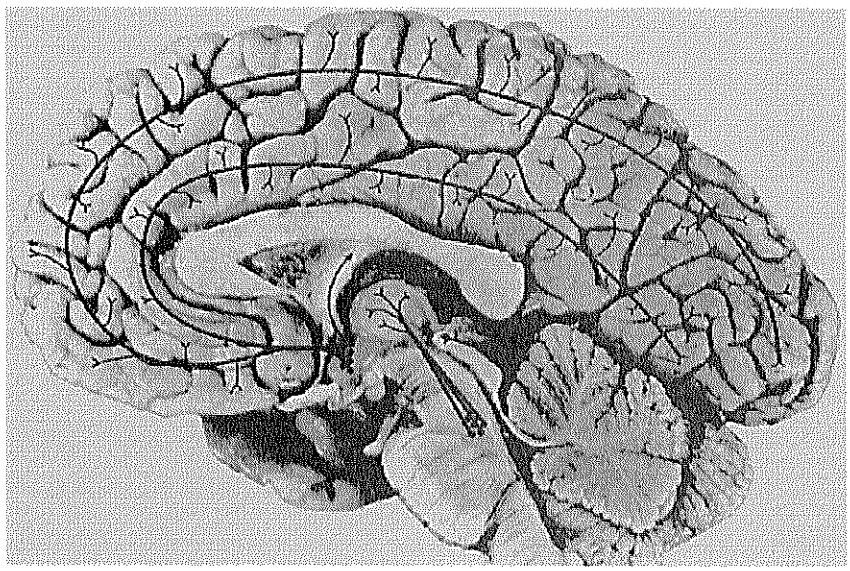
กลุ่มเซลล์ประสาทกลุ่มนี้สามารถพบได้บริเวณ posteromedial ต่อ pars compacta ของ substantia nigra ซึ่งทำหน้าที่สร้าง dopamine เพื่อไปกระตุ้นการทำงานของ accumbens nucleus และ prefrontal cortex เหมือนกับการกระตุ้นด้วย amphetamine และ cocaine และทำให้เกิดอาการของการพึงพอใจ (reward and pleasure) (รูปที่ 13)



รูปที่ 13 แสดงการกระจายของข้อมูลขาออกของ dopaminergic ventral tegmental area (ที่มา Young และคณะ 2007)

10.3 Cholinergic brainstem และ basal forebrain system

Chorinergic neurons ที่อยู่บริเวณของ pons และ midbrain จะทำหน้าที่ในการกระตุ้นการทำงานของ thalamic nuclei สำหรับ chorinergic neurons ที่อยู่บริเวณ anterior perforated substance เรียกว่า basal nucleus of Meynert ซึ่งทำหน้าที่ในการการะตุ้นการเรียนรู้และความจำของ cerebral cortex ถ้าเกิดพยาธิสภาพบริเวณนี้จะทำให้มีอาการของ Alzheimer's disease ได้



รูปที่ 13 แสดงการกระจายของข้อมูลขาออกของ chorinergic neurons ของ pons และ midbrain และ chorinergic neurons ที่อยู่ใน substantia nigra เรียกว่า basal nucleus of Meynert (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