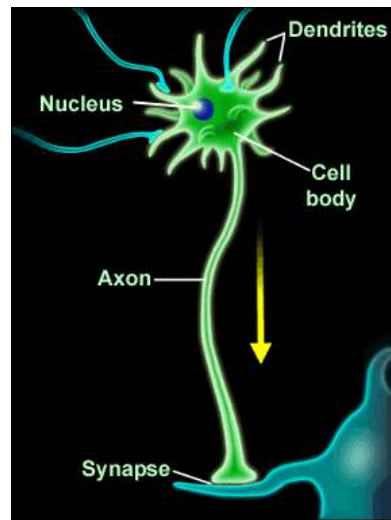


## เดนไดรติกสไปน์ (Dendritic Spine)

ภก. วีระพงษ์ ประสงค์จีน

หน่วยปฏิบัติการของระบบประสาทที่มีความสำคัญที่สุด คือ เซลล์ประสาท (neuron) โครงสร้างหลักของเซลล์ประสาทประกอบด้วย ตัวเซลล์ประสาท (cell body) และเส้นใยประสาท (neurites) ซึ่งได้แก่ แอกซอน (axon) และเดนไดรต์ (dendrite) เซลล์ประสาทสื่อสารระหว่างกันโดยใช้สารสื่อประสาท (neurotransmitters) เป็นส่วนใหญ่ ข้อมูลที่ส่งผ่านในรูปสารเคมีจากเซลล์ประสาทรอบข้างหลายๆ เซลล์นั้นเริ่มนำเข้าทางเดนไดรต์ซึ่งประกอบด้วยเส้นใยเป็นจำนวนมาก เกิดเป็นสัญญาณไฟฟ้าเพื่อให้ตัวเซลล์ประมวลผลรวมของสัญญาณดังกล่าว แล้วจึงสร้างกระแสประสาทลำเลียงผ่านแอกซอนซึ่งเป็นเส้นใยยาวและมีเพียวยเส้นเดียวตามลำดับ และที่ปลายแอกซอนของเซลล์ประสาทตัวแรกนี้จะเกิดการติดต่อกับเซลล์ประสาทถัดไปโดยปล่อยสารสื่อประสาทไปจับกับตัวรับ (receptor) ที่อยู่เยื่อหุ้มของโครงสร้างขนาดเล็กที่เรียกว่า “เดนไดรติกสไปน์ (dendritic spine)” ซึ่งอยู่บนเส้นใยเดนไดรต์ของเซลล์ประสาทถัดไป โดยเรียกกระบวนการสื่อสารระหว่างเซลล์ประสาทดังกล่าวใน ความหมายโดยทั่วไปว่าการเกิดไซแนปส์ (synapse) ซึ่งถ้าจะระบุให้ชัดเจนขึ้นก็อาจเรียกว่าเป็นไซแนปส์เคมี (chemical synapse) เนื่องจากใช้สารสื่อประสาทเป็นสื่อกลางในการสื่อสาร ซึ่งมีกลไกที่แตกต่างจากไซแนปส์อีกประเภทคือ ไซแนปส์ไฟฟ้า (electrical synapse)

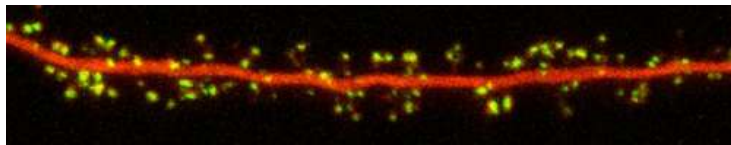


เดนไดรติกสไปน์เป็นโครงสร้างพิเศษที่ยื่นออกมาจากเดนไดรต์ของเซลล์ประสาท โดยทั่วไปแล้วเดนไดรติกสไปน์ยาวประมาณ 0.5–2 ไมโครเมตร แต่อาจจะยาวถึง 6 ไมโครเมตรก็ได้ซึ่งพบได้เช่นที่พบในเซลล์ประสาทบริเวณ CA3 ของสมองส่วนฮิปโปแคมปัส (hippocampus) ในทุกๆ ความยาวหนึ่งไมโครเมตรของเดนไดรต์เซลล์ประสาทที่โตเต็มที่แล้ว จะพบเดนไดรติกสไปน์หนาแน่นประมาณ 1-10 อัน ไซแนปส์ที่มีผลเชิงกระตุ้น (excitatory synapse) เกือบทั้งหมดที่พบในสมองสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมเกิดขึ้นที่เดนไดรติกสไปน์ ซึ่งในเดนไดรติกสไปน์ที่โตเต็มที่นั้นมักจะเกิดไซแนปส์เพียงหนึ่งไซแนปส์เท่านั้นที่ส่วนหัว (spine head) ของมัน



ภาพแสดงเดนไดรต์ที่มีลักษณะคล้ายต้นไม้ที่แตกกิ่งก้านขนาดเล็ก จุดสีฟ้าและสีเหลืองขนาดเล็ก เป็นจำนวนมากที่อยู่บนเดนไดรต์เรียกว่า “เดนไดรติกสไปน์”

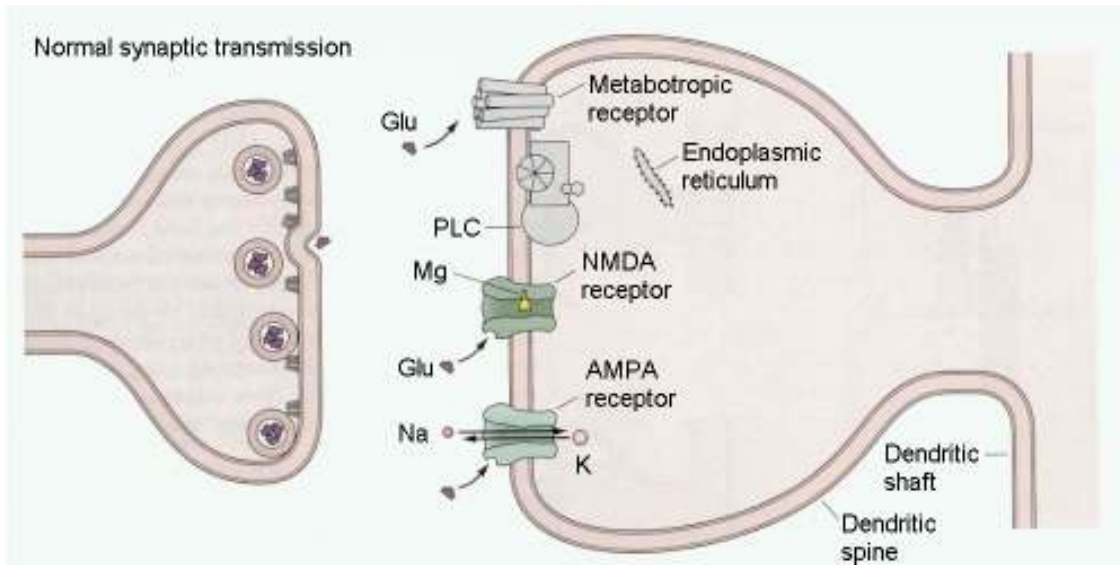
ที่มาของภาพ NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, VOLUME 4, DECEMBER 2003, 937



ภาพแสดงเดนไดรต์สไปน์จำนวนมาก (จุดสีเขียว-เหลือง) ที่อยู่บนเดนไดรต์ (สีส้ม-แดง) ที่มาของภาพ

<http://medschool.umaryland.edu/FACULTYRESEARCHPROFILE/viewprofile.aspx?id=8089>

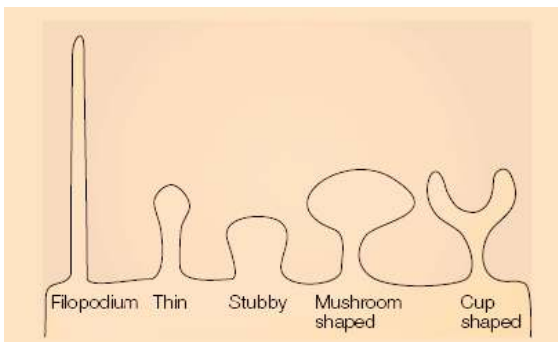
เซลล์ประสาทชนิดหลักของสมองเกือบทั้งหมดมีโครงสร้างเดนไดรติกสไปน์ ซึ่งได้แก่ เซลล์ประสาทที่หลังกลูตาเมต (glutamate) เช่น pyramidal neurons และเซลล์ประสาทที่หลังกาบา (GABA) เช่น Purkinje Neurons เป็นต้น แต่เซลล์ประสาทอีกหลายประเภทก็ไม่มีเดนไดรติกสไปน์ เช่น GABA-releasing interneuron เป็นต้น เซลล์ประสาทที่มีเดนไดรติกสไปน์ (Spiny neurons) พบได้น้อยมากในสัตว์ชั้นต่ำ เช่น *Drosophila melanogaster* และ *Caenorhabditis elegans* ซึ่งอาจเป็นข้อมูล que แสดงให้เห็นว่าเดนไดรติกสไปน์ได้ถูกวิวัฒนาการขึ้นเพื่อให้เหมาะแก่การทำงานที่ซับซ้อนของระบบประสาทชั้นสูงในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม



ภาพแสดงไซแนปส์เคมีของเซลล์ประสาทที่มีตัวรับของสารสื่อประสาทกลูตาเมตอยู่บนเยื่อหุ้มของเดนไดรติกสไปน์

ที่มาของภาพ <http://www.unmc.edu/Physiology/Mann/mann19.html>

โครงสร้างของเดนไดรติกสไปน์มีความหลากหลายทั้งขนาดและรูปร่าง และมีปริมาตรเล็กตั้งแต่ 0.01 ลูกบาศก์ไมโครเมตร ไปจนถึงขนาดใหญ่ประมาณ 0.8 ลูกบาศก์ไมโครเมตร การศึกษาลักษณะทางกายวิภาคของตัวอย่างเนื้อเยื่อประสาทสามารถระบุรูปร่างเดนไดรติกสไปน์ ออกเป็น 5



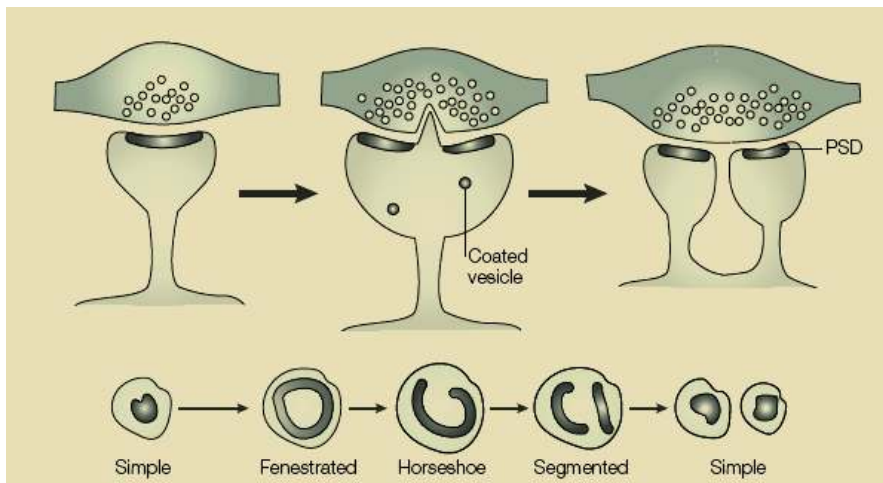
แบบ คือ filopodium, thin, stubby, mushroom และ cup และจากการศึกษาพบว่าเดนไดรติกสไปน์ มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและขนาดได้มากมายหลายแบบในช่วงเวลาตั้งแต่เป็นวินาทีจนถึงหลายวัน นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างทั้งในออร์แกนเนลล์และโมเลกุลพิเศษที่เป็นองค์ประกอบภายในเดนไดรติกสไปน์ โดยเดน

ไดรติกสไปน์ที่มีขนาดใหญ่จะมีขนาดไซแนปส์ที่ใหญ่และมีชนิดของออร์แกนเนลล์ที่หลากหลายมากกว่าเดนไดรติกสไปน์ที่มีขนาดเล็ก

ที่บริเวณส่วนหัวของเดนไดรติกสไปน์มีโครงสร้างของเยื่อหุ้มที่หนาตัวขึ้นในบริเวณไซแนปส์เรียกว่า พีเอสดี หรือ post-synaptic density (PSD) พีเอสดีนี้กินพื้นที่ประมาณร้อยละ 10 ของเดนไดรติกสไปน์

เนื่องจากขนาดของส่วนหัวของเดนไดรติกสไปน์มีอัตราส่วนที่แปรผันตรงกับขนาดพื้นที่ของพีเอสดี จำนวนตัวรับหลังไซแนปส์ (post-synaptic receptor) และจำนวนถุงสารสื่อประสาท (neurotransmitter vesicle) ที่มาเรียงตัวที่ไซแนปส์ของเซลล์ประสาทก่อนไซแนปส์ (post-synaptic neurone) จึงเป็นไปได้ว่าการเจริญเติบโตของส่วนหัวของเดนไดรติกสไปน์อาจจะมีส่วนเกี่ยวข้องกับการเพิ่มประสิทธิภาพของการสื่อสารผ่านไซแนปส์เคมี

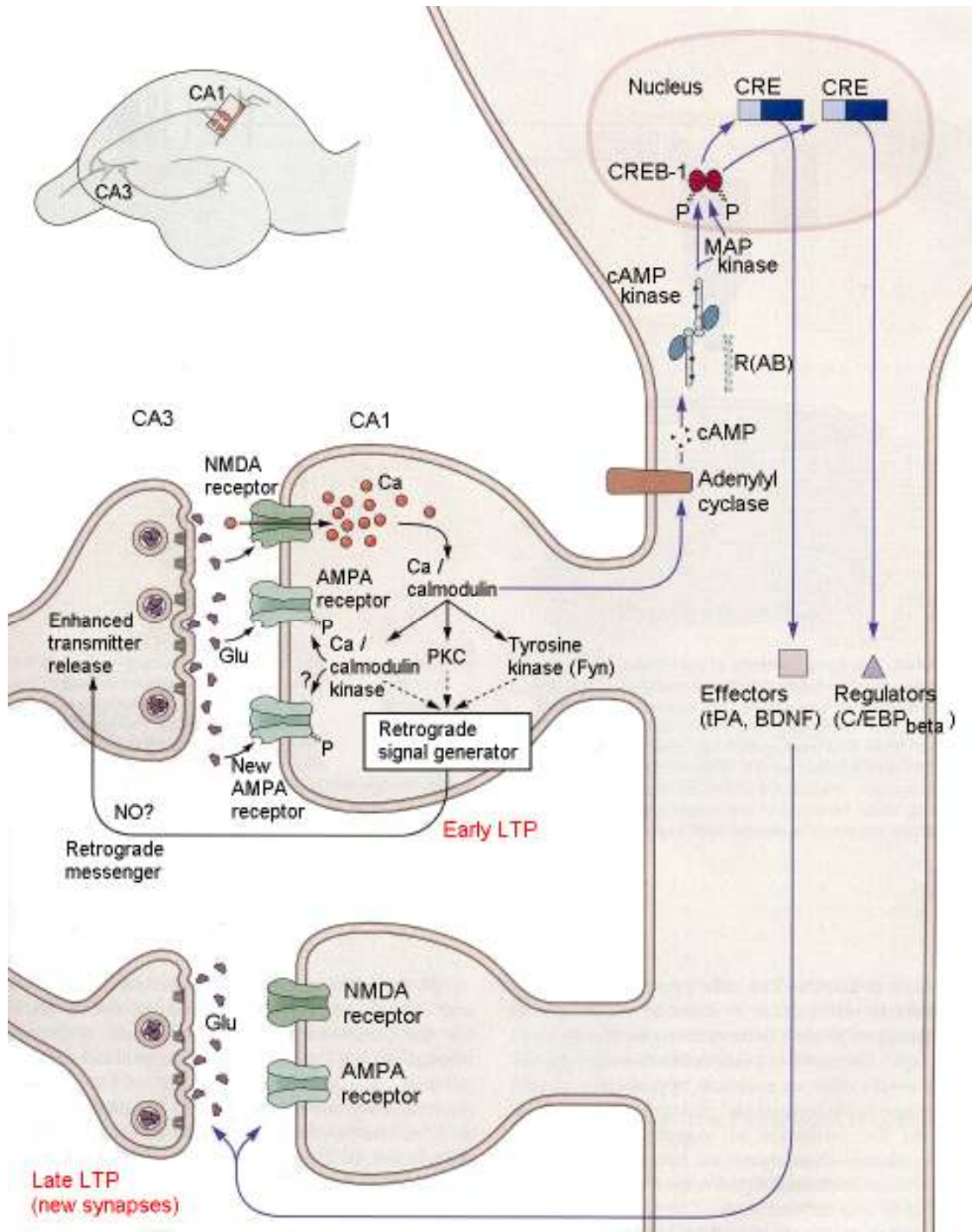
เมื่อใช้กล้องจุลทรรศน์ชนิด single-section electron microscopy ส่องดูที่บริเวณไซแนปส์ ส่วนใหญ่พบว่าในเดนไดรติกสไปน์หนึ่งอันจะมีโครงสร้างพีเอสดีที่ต่อเนื่องเป็นแผ่นเดียวกันเพียงหนึ่งแผ่นซึ่งเรียกว่า simple PSD แต่บางครั้งโครงสร้างพีเอสดีอาจไม่ได้เป็นแผ่นที่ต่อเนื่องกันทั่ว กล่าวคือมีลักษณะเป็นแผ่นที่ปรากฏรูคล้ายตะแกรง ซึ่งเรียกว่า perforated PSD ทั้งนี้นักวิจัยเชื่อว่า perforated PSD อาจสะท้อนถึงการเจริญเติบโตของไซแนปส์ในระยะแรกๆ ที่มีการแบ่งตัวของเดนไดรติกสไปน์ (spine division) พร้อมกับการสร้างไซแนปส์อันใหม่ขึ้นมา ซึ่งเรียกระบวนการนี้ว่าการจำลองไซแนปส์ (synapse duplication)



รูปแสดงการแบ่งตัวของเดนไดรติกสไปน์และการสร้างไซแนปส์ใหม่

โครงสร้างพีเอสดีประกอบไปด้วยตัวรับกลูตาเมต glutamate receptors ทั้งชนิดตัวรับแอมพา (AMPA (alpha-amino-3-hydroxy-5-methyl-4-isoxazole propionic acid) receptor) และตัวรับเอ็นเอ็มดีเอ (NMDA (N-methyl-D-aspartate) receptor) นอกจากนี้ยังพบว่าตัวรับแอมพามักพบอยู่กับ perforated PSD มากกว่าชนิด simple PSD ซึ่งลักษณะของไซแนปส์ที่เป็นรูคล้ายตะแกรงนี้ คาดว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนถ่ายตัวรับ (receptor turnover) ที่เพิ่มมากขึ้นในบริเวณพีเอสดี

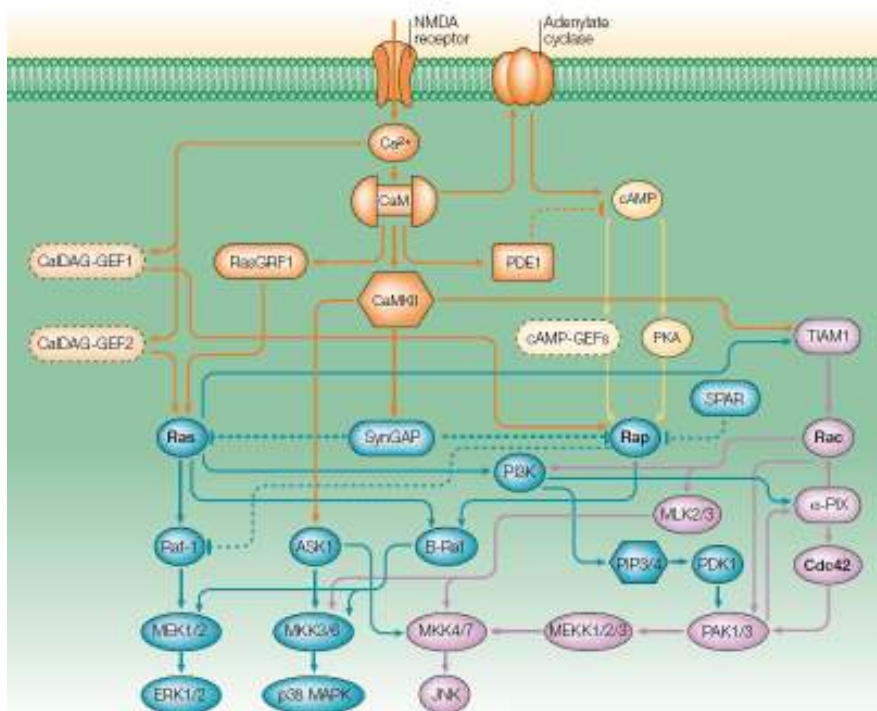
ซึ่งคาดว่าเหตุการณ์นี้น่าจะเกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเรียนรู้ของเซลล์ประสาทในขั้นตอนการเกิดปรากฏการณ์ Long-term potentiation (LTP)





ที่มาของภาพ <http://www.unmc.edu/Physiology/Mann/mann19.html>

เนื่องจากโดยทั่วไปเดนไดรติกสไปน์แต่ละอันนั้นสามารถเกิดไซแนปส์เพียงหนึ่งไซแนปส์ แสดงถึงความสำคัญของเดนไดรติกสไปน์ที่น่าจะเกี่ยวข้องกับการแบ่งอาณาบริเวณของไซแนปส์อย่างจำเพาะ (synapse-specific compartment) ซึ่งหน้าที่หลักของเดนไดรติกสไปน์คือการสร้างอาณาบริเวณขนาดเล็กๆ เพื่อรวบรวมสัญญาณทางเคมีที่เกิดขึ้นในเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ เช่น ความเข้มข้นของไอออนแคลเซียมที่เพิ่มขึ้น ที่สำคัญยังพบว่ารูปทรงของส่วนคอของเดนไดรติกสไปน์ (spine neck) อาจมีส่วนช่วยควบคุมจลศาสตร์และขนาดการตอบสนองต่อระดับไอออนแคลเซียม กล่าวคือ ในเดนไดรติกสไปน์ที่มีส่วนคอกที่ยาวจะเริ่มตอบสนองต่อไอออนแคลเซียมช้ากว่าเดนไดรติกสไปน์ที่มีส่วนคอกที่สั้นและยังมีจลศาสตร์การสลายตัวของไอออนแคลเซียมที่ช้ากว่าเดนไดรติกสไปน์ชนิดที่คอสั้นอีกด้วย นอกจากนี้จำนวนตัวรับหรือช่องไอออนที่อยู่บนเดนไดรติกสไปน์มีจำนวนไม่มากนัก การที่ส่วนหัวของเดนไดรติกสไปน์มีขนาดค่อนข้างเล็กจึงช่วยเพิ่มการเปลี่ยนแปลงระดับไอออนแคลเซียมให้มากยิ่งขึ้น (เมื่อมีปริมาตรน้อยก็จะทำให้ความเข้มข้นเพิ่มขึ้น) ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วเดนไดรติกสไปน์หนึ่งอันมีช่องแคลเซียมชนิด voltage-sensitive calcium channels ประมาณ 1–20 ช่อง



ภาพแสดงการวิถีการส่งสัญญาณภายในเซลล์ ของแคลเซียมเมื่อเกิดการกระตุ้นตัวรับชนิด NMDA ซึ่งพบได้ที่เยื่อหุ้มของเดนไดรติกสไปน์

ที่มาของภาพ Nature Review Neuroscience, JUNE 2005, VOLUME 6, p 426

## โรคและปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์

ปัจจัยที่ศึกษา	ผลที่เกิดขึ้น
การปิดกั้นการมองเห็น Visual deprivation	เดนไดรติกสไปน์ลดลง มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ผิดปกติ ในเซลล์ประสาท pyramidal cell ในสมองส่วนที่รับผิดชอบการมองเห็น (visual cortex) ของกระต่าย
การกระตุ้นการมองเห็น Visual stimulation	ความหนาแน่นของเดนไดรติก สไปน์เพิ่มขึ้น ในสมองส่วนที่รับผิดชอบการมองเห็น (visual cortex) ของหนูขาว (rat)
การเลี้ยงดูในสิ่งแวดล้อมที่สมบูรณ์ Rearing in complex/enriched' environment	ความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์เพิ่มขึ้นในบริเวณ CA1 ของสมองส่วนฮิปโปแคมปัส และ dorsolateral striatum ของหนูขาว
การจำศีลของสัตว์ Hibernation	จำนวนเดนไดรติกสไปน์ในสมองส่วนฮิปโปแคมปัส ของกระรอกลดลงร้อยละ 40 และจำนวนเดนไดรติก สไปน์จะเพิ่มขึ้นเมื่อกลับสู่ภาวะตื่นตัวตามปกติ
ฮอร์โมนเพศ Sex steroid hormones	ในบริเวณ CA1 ของสมองส่วนฮิปโปแคมปัสและ Hypothalamic nuclei พบว่าจำนวนเดนไดรติกสไปน์ของผู้หญิงมีมากกว่าผู้ชาย และความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์ของผู้หญิงจะเปลี่ยนไปตามรอบประจำเดือน
ความเครียด Stress	ความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์เพิ่มขึ้นในหนูขาวตัวผู้ แต่ความหนาแน่นจะลดลงในหนูขาวตัวเมีย
กลุ่มอาการฟราจีลเอกซ์ Fragile-X syndrome	เดนไดรติกสไปน์มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ผิดปกติ คือ ยาวและลึบ และยังพบว่าความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์เพิ่มขึ้นในสมอง

	ส่วน cerebral cortex
กลุ่มอาการดาวน์ Down's syndrome	ความหนาแน่นของเดนไดรติกสไปน์ของสมองส่วนฮิปโปแคมปัสและ cerebral cortex ลดลงเป็นอย่างมาก
โรคลมชัก Epilepsy	Hippocampal cell และ pyramidal cortical neuron มีจำนวนเดนไดรติกสไปน์ลดลง

### เอกสารอ้างอิง

1. Menahem Segal, DENDRITIC SPINES AND LONG-TERM PLASTICITY, NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, VOLUME 6, APRIL 2005, 277-284
2. Kristen M Harris, Dendritic Spines, ENCYCLOPEDIA OF LIFE SCIENCES, 1-6
3. Heike Hering and Morgan Sheng, DENDRITIC SPINES: STRUCTURE, DYNAMICS AND REGULATION, VOLUME 2, DECEMBER 2001, 880-888
4. Mary B. Kennedy et al, INTEGRATION OF BIOCHEMICAL SIGNALLING IN SPINES, NATURE REVIEWS NEUROSCIENCE, VOLUME 6, JUNE 2005, 423-434



หนังสืออิเล็กทรอนิกส์	
ฟิสิกส์ 1(ภาคกลศาสตร์(	ฟิสิกส์ 1 (ความร้อน)
ฟิสิกส์ 2	กลศาสตร์เวกเตอร์
โลหะวิทยาฟิสิกส์	เอกสารคำสอนฟิสิกส์ 1
ฟิสิกส์ 2 (บรรยาย(	แก้ปัญหาฟิสิกส์ด้วยภาษา C
ฟิสิกส์พิศวง	สอนฟิสิกส์ผ่านทางอินเทอร์เน็ต
ทดสอบออนไลน์	วิดีโอการเรียนการสอน
หน้าแรกในอดีต	แผ่นใสการเรียนการสอน
เอกสารการสอน PDF	กิจกรรมการทดลองทางวิทยาศาสตร์
แบบฝึกหัดออนไลน์	สุดยอดสิ่งประดิษฐ์
การทดลองเสมือน	
บทความพิเศษ	ตารางธาตุไทย1) 2 (Eng)
พจนานุกรมฟิสิกส์	ลับสมองกับปัญหาฟิสิกส์
ธรรมชาติมหัศจรรย์	สูตรพื้นฐานฟิสิกส์
การทดลองมหัศจรรย์	ดาราศาสตร์ราชมงคล
แบบฝึกหัดกลาง	
แบบฝึกหัดโลหะวิทยา	แบบทดสอบ
ความรู้รอบตัวทั่วไป	อะไรเอ่ย ?
ทดสอบ)เกมเศรษฐี(	คดีปริศนา
ข้อสอบเอนทรานซ์	เฉลยกลศาสตร์เวกเตอร์
คำศัพท์ประจำสัปดาห์	
ความรู้รอบตัว	
การประดิษฐ์ของโลก	ผู้ได้รับโนเบลสาขาฟิสิกส์
นักวิทยาศาสตร์เทศ	นักวิทยาศาสตร์ไทย
ดาราศาสตร์พิศวง	การทำงานของอุปกรณ์ทางฟิสิกส์
การทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ	

 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 1 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. การวัด	2. เวกเตอร์
3. การเคลื่อนที่แบบหนึ่งมิติ	4. การเคลื่อนที่บนระนาบ
5. กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน	6. การประยุกต์กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน
7. งานและพลังงาน	8. การดลและโมเมนตัม
9. การหมุน	10. สมดุลของวัตถุแข็งเกร็ง
11. การเคลื่อนที่แบบคาบ	12. ความยืดหยุ่น
13. กลศาสตร์ของไหล	14. ปริมาณความร้อน และ กลไกการถ่ายโอนความร้อน
15. กฎข้อที่หนึ่งและสองของเทอร์โมไดนามิก	16. คุณสมบัติเชิงโมเลกุลของสสาร
17. คลื่น	18. การสั่น และคลื่นเสียง
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ 2 ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. ไฟฟ้าสถิต	2. สนามไฟฟ้า
3. ความกว้างของสายฟ้า	4. ตัวเก็บประจุและการต่อตัวต้านทาน
5. ศักย์ไฟฟ้า	6. กระแสไฟฟ้า
7. สนามแม่เหล็ก	8. การเหนี่ยวนำ
9. ไฟฟ้ากระแสสลับ	10. ทรานซิสเตอร์
11. สนามแม่เหล็กไฟฟ้าและเสาอากาศ	12. แสงและการมองเห็น
13. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ	14. กลศาสตร์ควอนตัม
15. โครงสร้างของอะตอม	16. นิวเคลียร์
 <b>การเรียนรู้การสอนฟิสิกส์ทั่วไป ผ่านทางอินเทอร์เน็ต</b> 	
1. จลศาสตร์ (kinematic)	2. จลพลศาสตร์ (kinetics)
3. งานและโมเมนตัม	4. ซิมเปิลฮาร์โมนิก คลื่น และเสียง
5. ของไหลกับความร้อน	6. ไฟฟ้าสถิตกับกระแสไฟฟ้า
7. แม่เหล็กไฟฟ้า	8. คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับแสง
9. ทฤษฎีสัมพัทธภาพ อะตอม และนิวเคลียร์	

