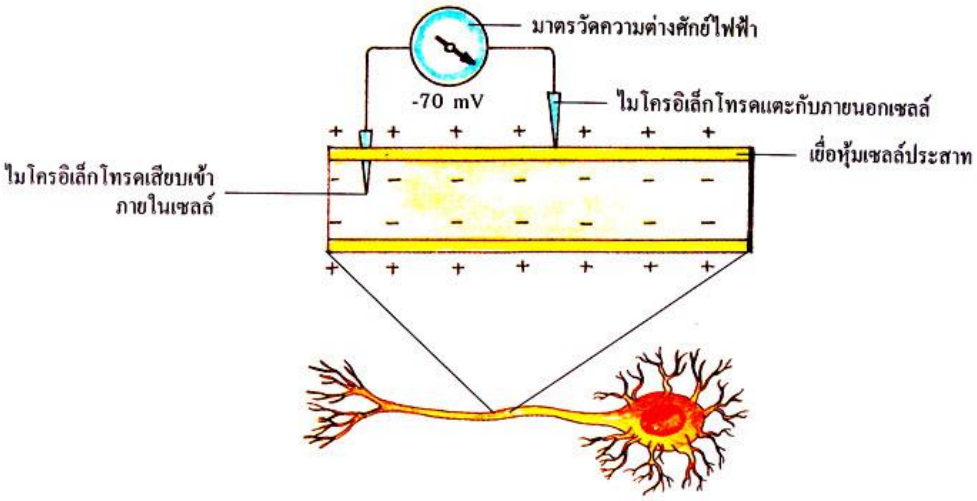
ใบความรู้ เรื่อง การทำงานของเซลล์ประสาท

การเกิดกระแสประสาท

สิ่งเร้าชนิดต่างๆ เช่น เสียง ความร้อน สารเคมีที่มากระตุ้นหน่วยรับความรู้สึกจะถูกเปลี่ยนให้เป็นกระแสประสาท

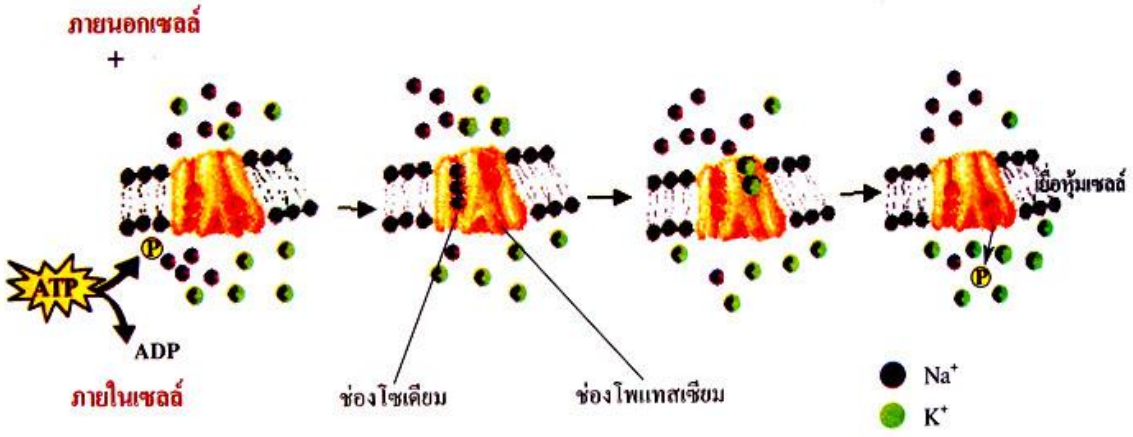
กระแสประสาทคืออะไร มีกลไกการเกิดและวิธีวัดอย่างไร เป็นที่สงสัยของนักวิทยาศาสตร์มานานแล้ว จากการวิจัยของนักสรีรวิทยาหลายท่าน โดยเฉพาะ **ฮอดจ์กิน** (A.L. Hodgkin) และ **ฮักซเลย์** (A.F. Huxley) ผู้ได้รับรางวัลโนเบลในปี พ.ศ. 2506 ทำให้ทราบว่ากระแสประสาทเกิดได้อย่างไร โดยการนำ **ไมโครอิเล็กโทรด** (microelectrode) ซึ่งมีลักษณะเป็นหลอดแก้วที่ดึงยาว ตรงปลายเรียวเป็นท่อขนาดเล็กมาต่อกับ **มาตรวัดความต่างศักย์ไฟฟ้า** (cathode rayoscilloscope) จากนั้นเสียบปลายของไมโครอิเล็กโทรดเข้าไปในแอกซอนของหมึกและแตะปลายอีกข้างหนึ่งที่ด้านผิวนอกของแอกซอนของหมึก ดังภาพที่ 8-12



ภาพที่ 8-12 การวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายนอกและภายในเซลล์ประสาทของหมึก

จากการทดลองสามารถวัดความต่างศักย์ไฟฟ้าระหว่างภายในและภายนอกเซลล์ประสาทของหมึก พบว่ามีค่าประมาณ -70 มิลลิโวลต์ซึ่งเป็น **ศักย์เยื่อเซลล์ระยะพัก** (resting membrane potential) เยื่อหุ้มเซลล์มีโปรตีนทำหน้าที่ควบคุมการเข้าออกของไอออนบางชนิดเช่น **Na+ เรียกว่า ช่องโซเดียม** และ **K+ เรียกว่า ช่องโพแทสเซียม**

ขณะเซลล์ประสาทยังไม่ถูกกระตุ้น พบว่าสารละลายภายนอกเซลล์มี $nbsp; Na^{+}$ สูงกว่าสารละลายภายในเซลล์ ขณะที่สารละลายภายในเซลล์มี $nbsp; K^{+} nbsp;$ สูงกว่าสารละลายภายนอกเซลล์ การที่เซลล์สามารถดำรงความเข้มข้นของไอออนที่แตกต่างกันนี้เพราะอาศัยพลังงานจาก ATP ไปดัน $nbsp; Na^{+} nbsp;$ ออกไปนอกเซลล์ทางช่องโซเดียม พร้อมกับดึง $nbsp; K^{+} nbsp;$ เข้าไปในเซลล์ทางช่องโพแทสเซียม ในอัตราส่วน $nbsp; 3Na^{+} nbsp; : 2K^{+} nbsp;$ เรียกกระบวนการนี้ว่า **โซเดียมโพแทสเซียมปั้ม** (sodium-potassium pump) ดังภาพที่ 8-13

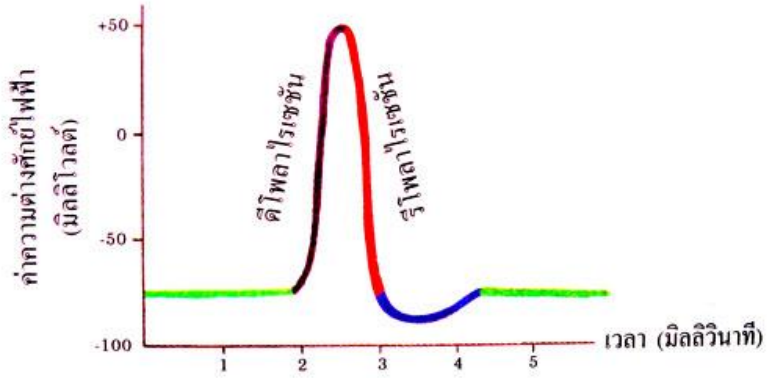


ภาพที่ 8-13 โซเดียมโพแทสเซียมปั๊มในระยะพัก

นอกจากนี้ $nbsp; K^{+} nbsp;$ ซึ่งสะสมอยู่ภายในเซลล์มากกว่าภายนอกเซลล์สามารถรั่วออกมาจากเซลล์ประสาทได้บ้าง ประกอบกับภายในเซลล์ประสาทมีสารอินทรีย์ที่มีขนาดใหญ่ และไม่สามารถผ่านออกไปนอกเซลล์อยู่เป็นจำนวนมาก เช่น โปรตีน กรดนิวคลีอิกซึ่งเป็นสารที่มีประจุลบ ดังนั้นการที่ $nbsp; K^{+} nbsp;$ ออกนอกเซลล์ซึ่งเป็นการเอาประจุบวกออกไปด้วยและภายในเซลล์มีประจุลบของสารอินทรีย์จึงทำให้ภายในเซลล์มีผลรวมของประจุเป็นลบ

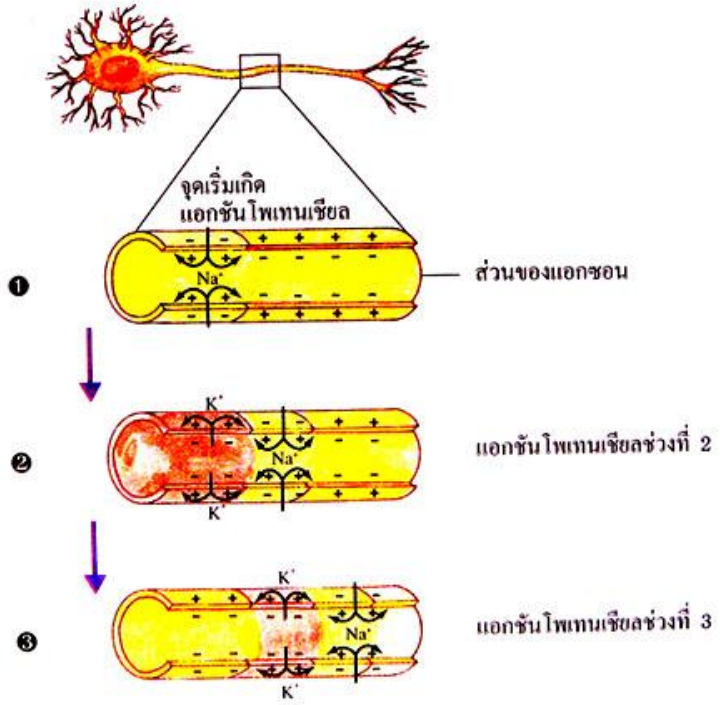
เมื่อมีสิ่งเร้ามากระตุ้นเซลล์ประสาทในระดับที่เซลล์สามารถตอบสนองได้ จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของศักย์เยื่อเซลล์ คือทำให้ช่องโซเดียมเปิด $nbsp; Na^{+} nbsp;$ จึงพรูเข้าไปในเซลล์มากขึ้น ภายในเซลล์จะเป็นลบน้อยลง และมีความเป็นบวกมากขึ้น ความต่างศักย์ที่เยื่อเซลล์จะเปลี่ยนจาก -70 มิลลิโวลต์ เป็น +50 มิลลิโวลต์เรียกว่า **ดีโพรลาไรเซชัน** (depolarization)

เมื่อ $nbsp; Na^{+} nbsp;$ ผ่านเข้าไปในเซลล์สักครู่หนึ่ง ช่องโซเดียมจะปิดขณะที่ช่องโพรแทสเซียมจะเปิด ทำให้ $nbsp; K^{+} nbsp;$ พรูออกนอกเซลล์ได้ทำให้เซลล์สูญเสียประจุบวกและภายในเซลล์เปลี่ยนเป็นประจุลบเรียกว่า **รีโพรลาไรเซชัน**(repolarization) ความต่างศักย์จะเปลี่ยนกลับจาก +50 มิลลิโวลต์ เป็น -70 มิลลิโวลต์ กลับสู่สภาพเดิมดังภาพที่ 8-14



ภาพที่ 8-14 การเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าขณะที่เซลล์ประสาทถูกกระตุ้น

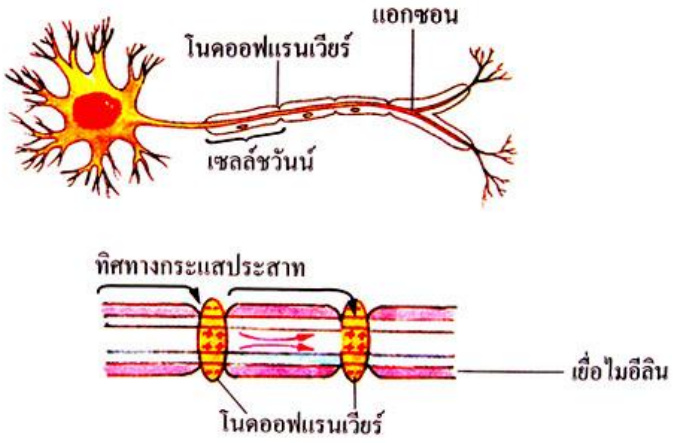
การเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ดังกล่าวนี้เรียกว่า **แอกชันโพเทนเชียล** (action potentail) หรือ **กระแสประสาท** (nerve impulse) การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นตรงบริเวณที่ถูกกระตุ้นจะชักนำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่บริเวณถัดไป ขณะบริเวณที่เกิดเอกชันโพเทนเชียลแล้วจะกลับสู่สภาพศักย์เยื่อเซลล์ประสาทระยะพักอีกครั้งหนึ่งเป็นเช่นนี้ไปเลื่อยๆ มีผลให้กระแสประสาทเคลื่อนที่ไปตามความยาวของใยประสาทแบบจุดต่อจุดต่อเนื่องกันของแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม ดังภาพที่ 8-15



ภาพที่ 8-15 การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทของใยประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

ถ้าเซลล์ประสาทไม่มีการขับ $nbsp; Na^{+} nbsp;$ ออกจากเซลล์และดึง $nbsp; K^{+} nbsp;$ เข้าสู่เซลล์ใหม่ นักเรียนคิดว่าจะเกิดอะไรขึ้นนักวิทยาศาสตร์พบว่าการเกิดแอกชันโพเทนเชียลต้องอาศัยช่วงเวลาหนึ่ง ดังนั้นถ้ากระตุ้นเซลล์ประสาทในขณะที่ยังเกิดแอกชันโพเทนเชียลอยู่ เซลล์ประสาทจะไม่ตอบสนอง กระแสประสาทจึงไม่เกิดขึ้นในระลอกใหม่

เยื่อไมอีลินเกี่ยวข้องกับความเร็วของกระแสประสาทหรือไม่อย่างไร กรณีที่ใยประสาทมีเยื่อไมอีลินหุ้ม เยื่อไมอีลินจะทำหน้าที่เป็นฉนวนกั้นประจุไฟฟ้าที่ผ่านเยื่อหุ้มเซลล์ ดังนั้นแอกซอนตรงบริเวณที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจะไม่มีแอกชันโพเทนเชียลเกิดขึ้น แอกชันโพเทนเชียลจะเคลื่อนที่บริเวณโนดออฟแรนเวียร์หนึ่งไปยังอีกโนดออฟแรนเวียร์หนึ่งตลอดความยาวของใยประสาท เนื่องจากดีโพลาไรเซชันเกิดจากการเคลื่อนที่ข้าวของ $nbsp; Na^{+} nbsp;$ บริเวณโนดออฟแรนเวียร์ แผ่ไปยังบริเวณถัดไป ดังนั้นการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในใยประสาทที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มจึงเป็นเสมือนกระโดดจากโนดออฟแรนเวียร์หนึ่งไปยังอีกโนดออฟแรนเวียร์หนึ่ง ดังภาพที่ 8-16 ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทในใยประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

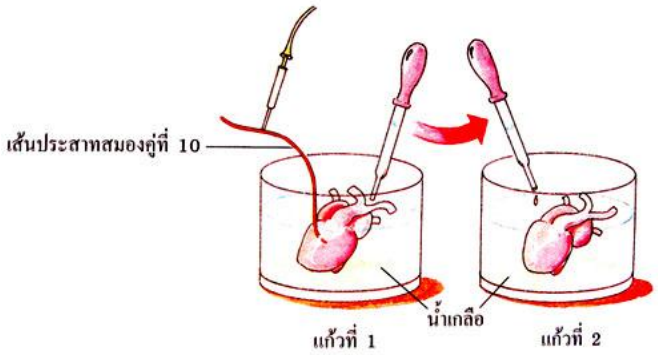


ภาพที่ 8-16 การเคลื่อนที่ของกระแสประสาทไปตามแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้ม

นอกจากนี้ยังมีปัจจัยใดอีกบ้างที่มีผลต่อความเร็วของกระแสประสาทไปตามใยประสาทที่ไม่มีเยื่อไมอีลิน นักวิทยาศาสตร์พบว่า ความเร็วของกระแสประสาทในแอกซอนที่ไม่มีเยื่อไมอีลินหุ้มยังขึ้นอยู่กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของใยประสาท ถ้าใยประสาทมีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใหญ่จะนำกระแสประสาทได้เร็วกว่าขนาดเล็ก เพราะความต้านทานการเคลื่อนที่ของไอออนจะแปรผกผันกับพื้นที่ตัดขวางของใยประสาท นอกจากนี้ยังพบว่าแอกซอนที่มีเยื่อไมอีลินหุ้มที่มีระยะห่างของโนดออฟแรนเวียร์มากกว่า จะมีการเคลื่อนที่ของกระแสประสาทได้เร็วกว่า

การถ่ายทอดกระแสประสาทระหว่างเซลล์ประสาท

นักวิทยาศาสตร์ชื่อ **ออทโต ลอวิ** (Otto Loewi) ได้ทำการทดลองนำหัวใจกบที่ยังมีชีวิตและยังมีเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ติดอยู่ มาใส่ในแก้วที่มีน้ำเกลือ แล้วกระตุ้นเซลล์ประสาทดังกล่าวด้วยกระแสไฟฟ้า พบว่าหัวใจของกบเต้นช้าลง เมื่อดูดสารละลายจากแก้วที่ 1 มาใส่ลงในแก้วที่ 2 ซึ่งมีหัวใจกบที่ตัดเอาเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 ออกไป ดังภาพที่ 8-17 พบว่าหัวใจของกบในแก้วที่ 2 มีอัตราการเต้นของหัวใจช้าลงเช่นเดียวกัน การทดลองครั้งนี้บอกอะไรแก่เรา



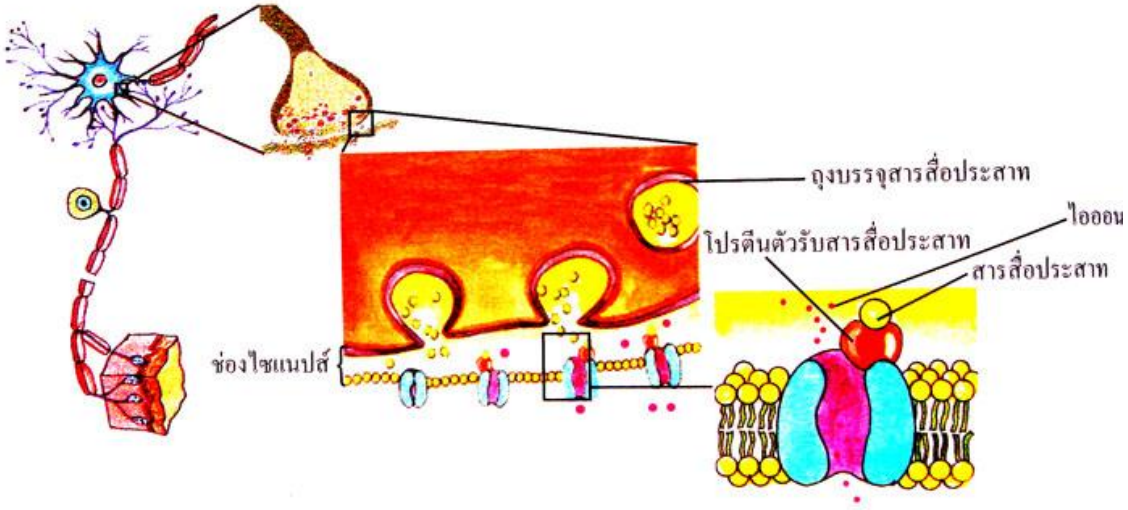
ภาพที่8-17 การทดลองของออทโต ลอวิ

การทดลองครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าการกระตุ้นเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 จะทำให้เกิดการปล่อยสารบางชนิดออกมายับยั้งการทำงานของกล้ามเนื้อหัวใจ เช่นเดียวกับการกระตุ้นใยประสาทที่ไปเลี้ยงกล้ามเนื้อนั้นโดยมีการหลั่งสารจากปลายประสาทกระตุ้นให้กล้ามเนื้อหดตัว สารที่หลั่งออกจากจากใยประสาทเรียกว่า **สารสื่อประสาท** (neurotransmitter)

ต่อมามีการค้นพบว่าที่บริเวณปลายแอกซอนมีสารดังกล่าวที่ปริมาณสูงมาก ทำหน้าที่เป็นตัวกลางถ่ายทอดกระแสประสาทจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่ง ปัจจุบันพบว่าสารสื่อประสาทมีหลายชนิด เช่น**แอซิติลโคลีน** (acetylcholine) **นอร์เอพิเนฟริน** (nor epinephrine) **เอนดอร์ฟิน** (endorphin) เป็นต้น ซึ่งจากการทดลองของออทโต ลอวิ พบว่าสารที่หลั่งออกมาจากเส้นประสาทสมองคู่ที่ 10 เมื่อกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า คือ แอซิตินโคลีนนั่นเอง

เมื่อศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน พบว่ารอยต่อระหว่างเซลล์ประสาทที่เรียกว่า ไซแนปส์นั้นจะมีช่องขนาด 0.02 ไมโครเมตร คั่นอยู่ ทำให้กระแสประสาทไม่สามารถข้ามผ่านไซแนปส์ได้ที่ปลายแอกซอนจะมีถุงขนาดเล็กและไมโทคอนเดรียสะสมอยู่มากภายในถุงเหล่านี้จะบรรจุสารสื่อประสาท เมื่อกระแสประสาทเคลื่อนที่มาถึงปลายแอกซอน ถุงเล็กๆ ดังกล่าวจะเคลื่อนไปรวมตัวกับเยื่อหุ้มเซลล์ตรงบริเวณไซแนปส์ และปล่อยสารสื่อประสาทออกมา เพื่อกระตุ้นเยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ถัดไป ทำให้เซลล์ประสาทที่ถูกกระตุ้นมีกระแสประสาทเกิดขึ้นและถูกถ่ายทอดต่อไปจนถึงปลายทาง

เมื่อสารสื่อประสาทถูกปล่อยออกมาจากถุงบรรจุสารสื่อประสาทที่เยื่อหุ้มปลายแอกซอนเข้าสู่ช่องไซแนปส์ สารสื่อประสาทจะไปจับกับโปรตีนตัวรับที่เยื่อหุ้มเซลล์ของเซลล์ประสาทหลังไซแนปส์ดังภาพที่ 8-18 ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของไอออนผ่านเยื่อหุ้มเซลล์เกิดการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ที่เดนไดรต์ของเซลล์ประสาทต่อไป



ภาพที่ 8-18 สารสื่อประสาทผ่านช่องไซแนปส์

สารสื่อประสาทที่เหลืออยู่ในช่องไซแนปส์ จะถูกสลายโดนเอนไซม์ สารที่ได้จากการสลายอาจจะนำกลับเข้าไปสร้างสารสื่อประสาทใหม่ บางส่วนกำจัดออกทางระบบเลือด ดังนั้นเดนไดรต์จึงถูกกระตุ้นเฉพาะเวลาที่แอกซอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมาในช่วงสั้นๆ เท่านั้น

ปัจจุบันพบว่ายาหลายชนิดมีผลต่อการถ่ายทอดกระแสประสาทที่ไซแนปส์ เช่น ยาระงับประสาททำให้สารสื่อประสาทถูกปล่อยออกมาน้อย กระแสประสาทจึงส่งไปยังสมองน้อยลงทำให้มีอาการสงบไม่วิตกกังวล สารจำพวกนิโคติน คาเฟอีน แอมเฟตามีน จะไปกระตุ้นให้แอกซอนปล่อยสารสื่อประสาทออกมามาก ทำให้เกิดการตื่นตัว หัวใจเต้นเร็ว สำหรับยาฆ่าแมลงบางชนิดยังสามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่จะมาสลายสารสื่อประสาท เป็นต้น **ในกรณีเช่นนี้จะเกิดอะไรขึ้นเมื่อร่างกายได้รับยาฆ่าแมลงชนิดนี้เข้าไป**