

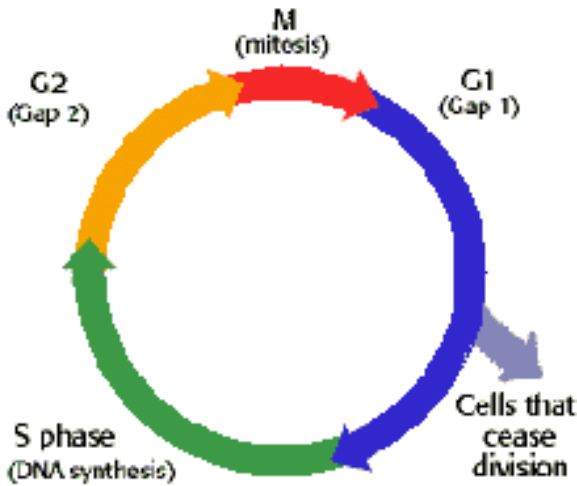
วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)

วัฏจักรของเซลล์ (cell cycle)

วัฏจักรของเซลล์ หมายถึง ช่วงระยะเวลาการเปลี่ยนแปลงของเซลล์ ในขณะที่เซลล์ มีการแบ่งตัว ซึ่งประกอบด้วย 2 ระยะได้แก่ การเตรียมตัวให้พร้อม ที่จะแบ่งตัว และกระบวนการแบ่งเซลล์

1. ระยะอินเตอร์เฟส (Interphase)

ระยะนี้เป็นระยะเตรียมตัว ที่จะแบ่งเซลล์ในวัฏจักรของเซลล์ แบ่งออกเป็น 3 ระยะย่อย คือ



- ระยะ G1 เป็นระยะก่อนการสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเจริญเติบโตเต็มที่ ระยะนี้ จะมีการสร้างสารบางอย่าง เพื่อใช้สร้าง DNA ในระยะต่อไป
- ระยะ S เป็นระยะสร้าง DNA (DNA replication) โดยเซลล์มีการเจริญเติบโต และมีการสังเคราะห์ DNA อีก 1 ตัว หรือมีการจำลองโครโมโซม อีก 1 เท่าตัว แต่โครโมโซมที่จำลองขึ้น ยังติดกับท่อนเก่า ที่ปมเซนโทรเมียร์ (centromere) หรือไคเนโตคอร์ (kinetochore) ระยะนี้ใช้เวลาที่นานที่สุด คิดเป็นสัดส่วน 3/4

- ระยะ G2 เป็นระยะหลังสร้าง DNA ซึ่งเซลล์มีการเจริญเติบโต และเตรียมพร้อม ที่จะแบ่งโครโมโซม และไซโทพลาสซึมต่อไป

2. ระยะ M (M-phase)

ระยะ M (M-phase) เป็นระยะที่มีการแบ่งนิวเคลียส และแบ่งไซโทพลาสซึม ซึ่งโครโมโซม จะมีการเปลี่ยนแปลงหลายขั้นตอน ก่อนที่จะถูกแบ่งแยกออกจากกัน ประกอบด้วย 4 ระยะย่อย คือ โพรเฟส เมทาเฟส แอนาเฟส และเทโลเฟส ในเซลล์บางชนิด เช่น เซลล์เนื้อเยื่อเจริญของพืช เซลล์ไขกระดูก เพื่อสร้างเม็ดเลือดแดง เซลล์บุผิว พบว่า เซลล์จะมีการแบ่งตัว อยู่เกือบตลอดเวลา จึงกล่าวได้ว่า เซลล์เหล่านี้ อยู่ในวัฏจักรของเซลล์ตลอด แต่เซลล์บางชนิด เมื่อแบ่งเซลล์แล้ว จะไม่แบ่งตัวอีกต่อไป นั่นคือ เซลล์จะไม่เข้าสู่วัฏจักรของเซลล์อีก เข้าสู่ G0 จนกระทั่งเซลล์ชราภาพ (cell aging) และตายไป (cell death) ในที่สุด แต่เซลล์บางชนิด จะพักตัวหรืออยู่ใน G0 ช่วงระยะเวลาหนึ่ง ถ้าจะกลับมาแบ่งตัวอีก ก็จะเข้าวัฏจักรของเซลล์ต่อไป

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis)

การแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส เป็นการแบ่งเซลล์ เพื่อเพิ่มจำนวนเซลล์ของร่างกาย ในการเจริญเติบโต ในสิ่งมีชีวิตหลายเซลล์ หรือในการแบ่งเซลล์ เพื่อการสืบพันธุ์ ในสิ่งมีชีวิตเซลล์เดียว และหลายเซลล์บางชนิด เช่น พืช

- ไม่มีการลดจำนวนชุดโครโมโซม ($2n$ ไป $2n$ หรือ n ไป n)
- เมื่อสิ้นสุดการแบ่งเซลล์จะได้ 2 เซลล์ใหม่ที่มีโครโมโซมเท่าๆ กัน และเท่ากับเซลล์ตั้งต้น
- พบที่เนื้อเยื่อเจริญปลายยอด , ปลายราก , แคมเบียม ของพืชหรือเนื้อเยื่อบุผิว , ไชกระดูกในสัตว์ , การสร้างสเปิร์ม และไข่ของพืช
- มี 5 ระยะ คือ อินเตอร์เฟส (interphase), โพรเฟส (prophase), เมทาเฟส (metaphase), แอนาเฟส (anaphase) และเทโลเฟส (telophase)

ขั้นตอนต่างๆของไมโทซิส

1. ระยะอินเตอร์เฟส (interphase)

- เป็นระยะที่เซลล์เติบโตเต็มที่
- เซลล์มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมากที่สุด หรือมีเมตาบอลิซึมสูงมาก จึงเรียก Metabolic stage
- ใช้เวลานานที่สุด ดังนั้น ถ้าศึกษาการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส จากกล้องจุลทรรศน์ จะพบเซลล์ปรากฏ อยู่ในระยะนี้มากที่สุด
- โครโมโซม มีลักษณะเป็นเส้นใยยาวขดไปมา เรียกว่า เส้นใยโครมาทิน (chromation)
- มีการสังเคราะห์ DNA ขึ้นมาอีก 1 เท่าตัว หรือมีการจำลองโครโมโซมอีก 1 ชุด แต่ยั้งติดกันอยู่ ที่ปมเซนโทรเมียร์ (centromere) หรือไคเนโตคอร์ (kinetochore) ดังนั้นโครโมโซม 1 แท่ง จะมี 2 ขา เรียกแต่ละขานั้น เรียกว่า โครมาทิด (chromatid) โดยโครมาทิดทั้งสองขา ของโครโมโซมท่อนเดียวกัน เรียกว่า sister chromatid ดังนั้น ถ้าโครโมโซมในเซลล์ 8 แท่งก็จะมี 16 โครมาทิด หรือในคนเรา มีโครโมโซม 46 แท่ง ก็จะมี 92 โครมาทิด
- ระยะนี้ โครโมโซมจะมีความยาวมากที่สุด

2. ระยะโพรเฟส (prophase)

- ระยะนี้โครมาทิดจะหดตัว โดยการบิดเป็นเกลียวสั้นลง ทำให้เห็นได้ชัดเจนมากขึ้นว่าโครโมโซม 1 แท่งมี 2 โครมาทิด
- เยื่อหุ้มนิวเคลียส และนิวคลีโอลัสสลายไป
- เซนทริโอล (centrioles) ในเซลล์สัตว์ และโพรติสท์บางชนิด เช่น สาหร่าย รา จะเคลื่อนที่ แยกไปอยู่ตรงข้ามกัน ในแต่ละขั้วเซลล์ และสร้างเส้นใยโปรตีน (microtubule) เรียกว่า ไมโทติก สปินเดิล (mitotic spindle) และสปินเดิล ไฟเบอร์ (spindle fiber) ไปเกาะที่เซนโทรเมียร์ของทุกโครมาทิด ดังนั้น รอบๆ เซนโทรโอล จึงมีไมโทติก สปินเดิล ยื่นออกมาโดยรอบมากมาย เรียกว่า แอสเตอร์ (Aster) สำหรับใช้ในเซลล์พืช ไม่มีเซนทริโอล แต่มีไมโทติก สปินเดิล การกระจายออก จากขั้วที่อยู่ตรงข้ามกัน (polar cap)

ข้อควรทราบพิเศษ ระยะโพรเฟสนี้ พบว่า ในเซลล์สัตว์ จะมีเซนทริโอล 2 อัน หรือ มีแอสเทอร์ 2 อัน

3. ระยะเมทาเฟส (metaphase)

- ระยะนี้ไมโทติก สปินเดิลจะหดตัว ดึงให้โครมาทิดไปเรียงตัวอยู่ในแนวกึ่งกลางเซลล์ (equatorial plate)
- โครมาทิดหดสั้นมากที่สุด จึงสะดวกต่อการเคลื่อนที่ ของโครมาทิดมาก
- ระยะนี้เหมาะมากที่สุด ต่อการนับจำนวนโครโมโซม , จัดเรียงโครโมโซมเป็นคู่ๆ หรือที่เรียกว่าแครีโอไทป์ (karyotype) หรือเหมาะต่อการศึกษารูปร่าง ความผิดปกติ ของโครโมโซม
- ตอนปลายของระยะนี้ มีการแบ่งตัว ของเซนโทรเมียร์ ทำให้โครมาทิดพร้อมที่จะแยกจากกัน

4. ระยะแอนาเฟส (anaphase)

- ระยะนี้ไมโทติก สปินเดิล หดสั้นเข้า ดึงให้โครมาทิดแยกตัวออกจากกัน แล้วโครมาทิด จะค่อยๆ เคลื่อนไปยังแต่ละขั้ว ของเซลล์
- โครโมโซม ในระยะนี้จะเพิ่มจาก $2n$ เป็น $4n$
- เป็นระยะเวลาที่ใช้สั้นที่สุด
- ระยะนี้จะเห็นโครโมโซม มีรูปร่างคล้ายอักษรต ตัววี (V), ตัวเจ (J) และตัวไอ (I) ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ ว่าอยู่กึ่งกลางของโครโมโซม หรือค่อนข้างปลาย หรือเกือบปลายสุด

5. ระยะเทโลเฟส (telophase)

- เป็นระยะสุดท้ายของการแบ่งเซลล์ โดยโครมาทิดที่แยกออกจากกัน จะเรียกเป็น โครโมโซมลูก (daughter chromosome) ซึ่งจะไปรวมกลุ่มในแต่ละขั้วของเซลล์
- มีการสร้างเยื่อหุ้มนิวเคลียส ล้อมรอบโครโมโซม และนิวคลีโอลัสปรากฏขึ้น
- ไมโทติก สปินเดิล สลายไป
- มีการแบ่งไซโทพลาสซึมออกเป็น 2 ส่วน คือ

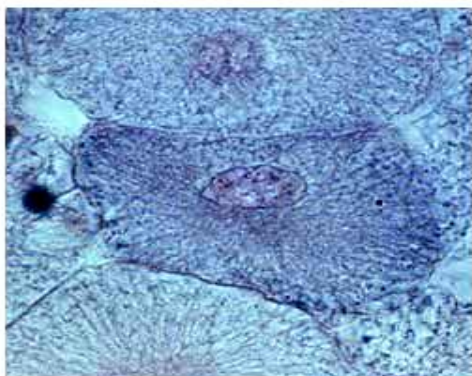
1. ในเซลล์สัตว์ จะเกิดโดย เยื่อหุ้มเซลล์จะคอดกึ่งจาก 2 ข้าง เข้าใจกลางเซลล์ จนเกิดเป็นเซลล์ 2 เซลล์ใหม่

2. ในเซลล์พืช จะเกิดโดยกอลจิคอมเพลกซ์สร้างเซลล์ลูโลสมาก่อตัวเป็นเซลล์เพลท (cell plate) หรือแผ่นกั้นเซลล์ ตรงกลางเซลล์ ขยายไป 2 ข้างของเซลล์ ซึ่งต่อมาเซลล์เพลทจะกลายเป็นส่วนของผนังเซลล์

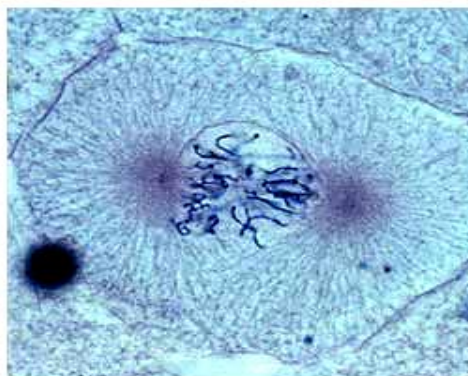
- ผลสุดท้าย จะได้เซลล์ใหม่ 2 เซลล์ ที่มีขนาดเท่ากันเสมอ โดยนิวเคลียสของเซลล์ใหม่ มีองค์ประกอบ และสมบัติเหมือนกัน และมีสภาพเหมือนกับนิวเคลียส ในระยะอินเตอร์เฟส ของเซลล์เริ่มต้น

ระยะการแบ่ง	การเปลี่ยนแปลงที่สำคัญ
อินเตอร์เฟส (Interphase) 	เพิ่มจำนวนโครโมโซม (Duplication) ขึ้นมาอีกชุดหนึ่ง และติดกัน อยู่ที่เซนโทรเมียร์ (1 โครโมโซม มี 2 โครมาทิด) มีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีมากที่สุด (metabolic stage) เซนทริโอล แบ่งเป็น 2 อัน ใช้เวลานานที่สุด , โครโมโซมมีความยาวมากที่สุด
โพรเฟส (Prophase) 	โครมาทิดหดสั้น ทำให้มองเห็นเป็นแท่งชัดเจน เยื่อหุ้มนิวเคลียสและนิวคลีโอลัสหายไป เซนทริโอลเคลื่อนไป 2 ข้างของเซลล์ และสร้างไมโทติก สปินเดิลไปเกาะที่เซนโทรเมียร์ ระยะนี้จึงมีเซนทริโอล 2 อัน
เมตาเฟส (Metaphase) 	โครโมโซมเรียงตัวตามแนวกึ่งกลางของเซลล์ เหมาะต่อการนับโครโมโซม และศึกษารูปร่างโครงสร้างของโครโมโซม เซนโทรเมียร์จะแบ่งครึ่ง ทำให้โครมาทิดเริ่มแยกจากกัน โครโมโซมหดสั้นมากที่สุด สะดวกต่อการเคลื่อนที่

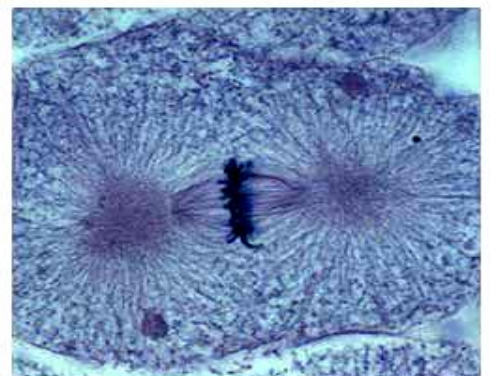
ลักษณะโครโมโซมในแต่ละระยะการแบ่งเซลล์แบบไมโทซิส (mitosis)



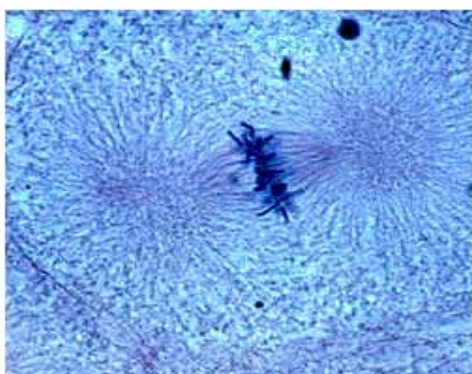
Interphase



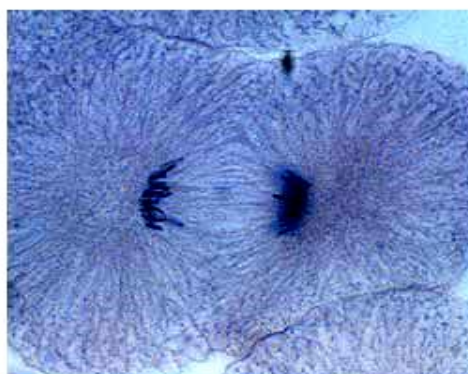
Prophase



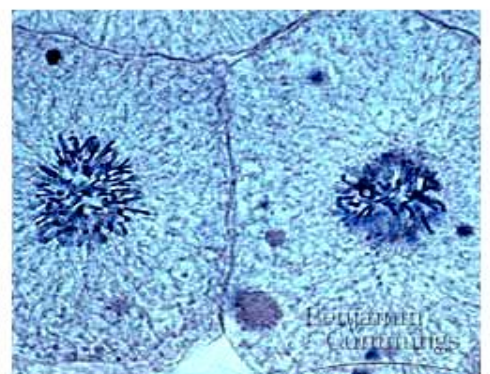
Metaphase



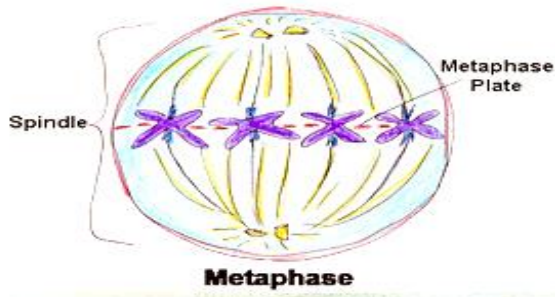
Anaphase



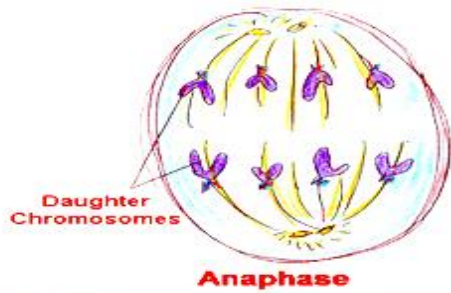
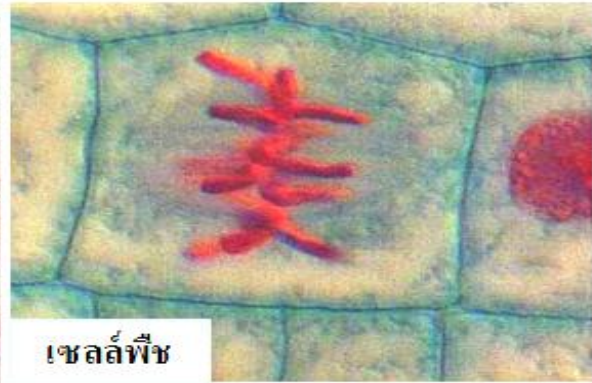
Early Telophase



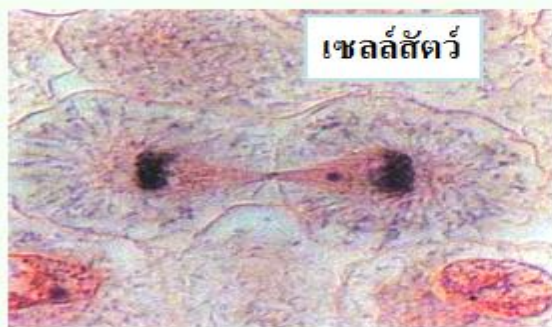
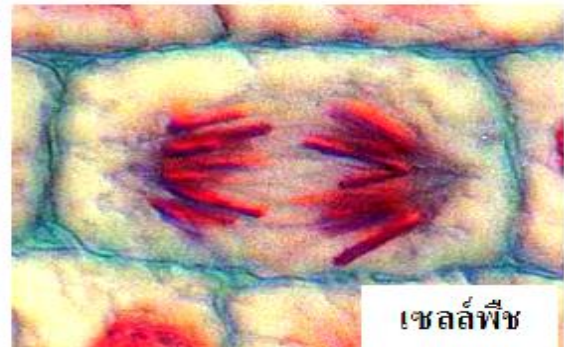
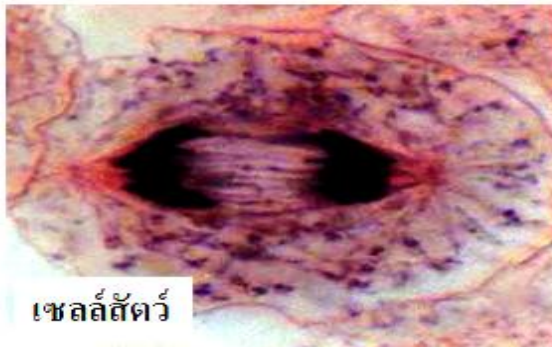
Late Telophase



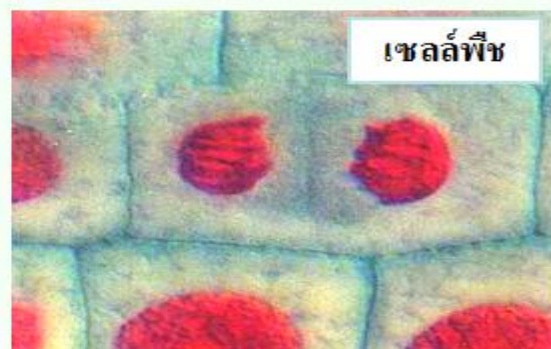
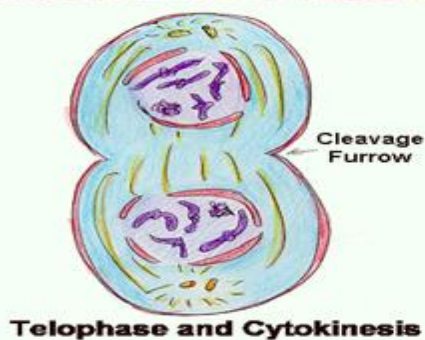
Metaphase stage



Anaphase stage



Telophase stage



การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส (meiosis)

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส เป็นการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของสัตว์ ซึ่งเกิดในวัยเจริญพันธุ์ ของสิ่งมีชีวิต โดยพบในอัณฑะ (testis), รังไข่ (ovary), และเป็นการแบ่ง เพื่อสร้างสปอร์ (spore) ในพืช ซึ่งพบในอับละอองเรณู (pollen sac) และอับสปอร์ (sporangium) หรือโคน (cone) หรือในออวูล (ovule) มีการลดจำนวนชุดโครโมโซมจาก $2n$ เป็น n ซึ่งเป็นกลไกหนึ่ง ที่ช่วยให้จำนวนชุดโครโมโซมคงที่ ในแต่ละสปีชีส์ ไม่ว่าจะ เป็นโครโมโซม ในรุ่นพ่อ - แม่ หรือ รุ่นลูก - หลานก็ตาม

การแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส มี 2 ขั้นตอนคือ

1. ไมโอซิส 1 (Meiosis - 1)

ไมโอซิส I (Meiosis I) หรือ Reductional division ขั้นตอนนี้จะมีการแยก homologous chromosome ออกจากกันมี 5 ระยะย่อย คือ

- 1) Interphase 1
- 2) Prophase 1
- 3) Metaphase 1
- 4) Anaphase 1
- 5) Telophase 1

2. ไมโอซิส 2 (Meiosis 2)

ไมโอซิส 2 (Meiosis 2) หรือ Equational division ขั้นตอนนี้จะมีการแยกโครมาทิด ออกจากกันมี 4- 5 ระยะย่อย คือ

- 1) Interphase 2
- 2) Prophase 2
- 3) Metaphase 2
- 4) Anaphase 2
- 5) Telophase 2

เมื่อสิ้นสุดการแบ่งจะได้ 4 เซลล์ที่มีโครโมโซมเซลล์ละ n (Haploid) ซึ่งเป็นครึ่งหนึ่งของเซลล์ตั้งต้น และเซลล์ที่ได้เป็นผลลัพธ์ ไม่จำเป็นต้องมีขนาดเท่ากัน ขั้นตอนต่างๆ ในไมโอซิส

Meiosis 1 มีขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

Interphase 1 • มีการสังเคราะห์ DNA อีก 1 เท่าตัว หรือมีการจำลองโครโมโซม อีก 1 ชุด และยังคงติดกันอยู่ที่ปมเซนโทรเมียร์ ดังนั้น โครโมโซม 1 ท่อน จึงมี 2 โครมาทิด

Prophase 1

- เป็นระยะที่ใช้เวลานานที่สุด
 - มีความสำคัญ ต่อการเกิดวิวัฒนาการ ของสิ่งมีชีวิตมากที่สุด เนื่องจากมีการแลกเปลี่ยน ของ ยีนส์เกิดขึ้น
 - โครโมโซมที่เป็นคู่กัน (Homologous Chromosome) จะมาเข้าคู่ และแนบชิดติดกัน เรียกว่า เกิดไซแนปซิส (Synapsis) ซึ่งคู่ของโฮโมโลกัส โครโมโซม ที่เกิดไซแนปซิสกันอยู่นั้น เรียกว่า ไบแวลเลนท์ (bivalent) ซึ่งแต่ละไบแวลเลนท์มี 4 โครมาทิด เรียกว่า เทตแรด (tetrad)
- ในคน มีโครโมโซม 23 คู่ จึงมี 23 ไบแวลเลนท์
- โฮโมโลกัส โครโมโซม ที่ไซแนปซิสกัน จะผละออกจากกัน บริเวณกลางๆ แต่ตอนปลาย ยัง ไขว้กันอยู่ เรียกว่า เกิดไคแอสมา (chiasma)
 - มีการเปลี่ยนแปลงชิ้นส่วนโครมาทิด ระหว่างโครโมโซมที่เป็นโฮโมโลกัสกัน กับบริเวณที่ เกิดไคแอสมา เรียกว่า ครอสซิงโอเวอร์ (crossing over) หรืออาจมีการเปลี่ยนแปลง ชิ้นส่วนของโครมา ทิด ระหว่างโครโมโซม ที่ไม่เป็นโฮโมโลกัสกัน (nonhomologous chromosome) เรียกว่าทรานส-โลเคชัน (translocation) กรณีทั้งสอง ทำให้เกิดการผันแปรของยีน (gene variation) ซึ่งทำให้เกิดการ แปรผัน ของลักษณะสิ่งมีชีวิต (variation)

Metaphase 1

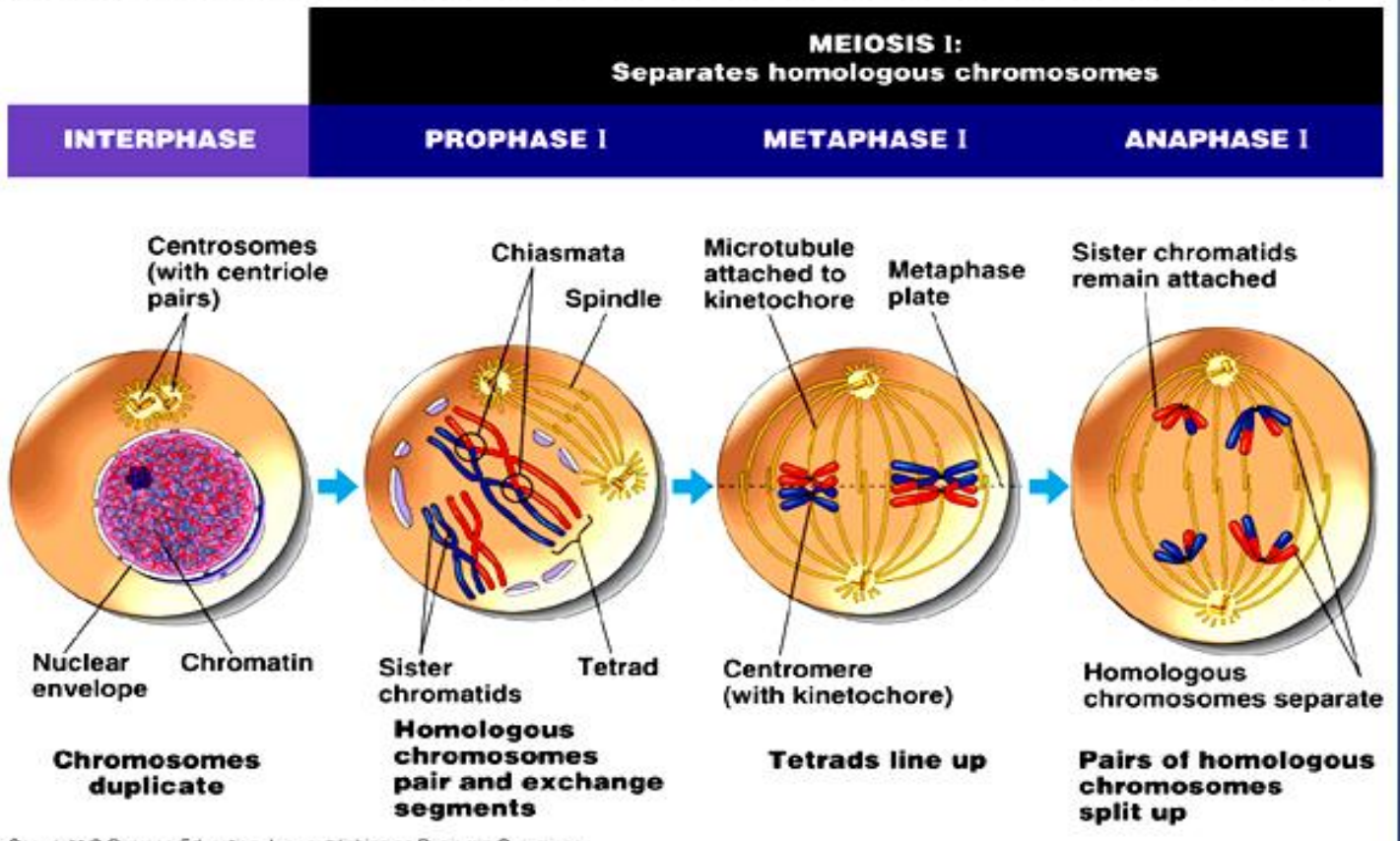
ไบแวลเลนท์จะมาเรียงตัวกัน อยู่ในแนวกึ่งกลางเซลล์ (โฮโมโลกัส โครโมโซม ยังอยู่กันเป็นคู่ๆ)

Anaphase 1

- ไมโทติก สปินเดิล จะหดตัวดึงให้ โฮโมโลกัส โครโมโซม ผละแยกออกจากกัน
- จำนวนชุดโครโมโซมในเซลล์ ระยะนี้ยังคงเป็น $2n$ เหมือนเดิม ($2n$ เป็น $2n$)

Telophase 1

- โครโมโซมจะไปรวมอยู่ แต่ละขั้วของเซลล์ และในเซลล์บางชนิด ในระยะนี้ จะมีการสร้างเยื่อ หุ้มนิวเคลียส มาล้อมรอบโครโมโซม และแบ่งไซโทพลาสซึม ออกเป็น 2 เซลล์ เซลล์ละ n แต่ในเซลล์ บางชนิด จะไม่แบ่งไซโทพลาสซึม โดยจะมีการเปลี่ยนแปลง ของโครโมโซม เข้าสู่ระยะโพรเฟส II เลย



Meiosis 2 มีเหตุการณ์ต่าง ๆ ต่อไปนี้เกิดขึ้น

Interphase 2

- เป็นระยะพักตัว ซึ่งมีหรือไม่มีก็ได้ ขึ้นอยู่กับชนิดของเซลล์
- ไม่มีการสังเคราะห์ DNA หรือจำลองโครโมโซมแต่อย่างใด

Prophase 2

- โครมาทิดจะหดสั้นมากขึ้น
- ไม่มีการเกิดไซแนปซิส , ไคแอสมา , ครอสซิงโอเวอร์ แต่อย่างใด

Metaphase 2

- โครมาทิดมาเรียงตัว อยู่ในแนวกึ่งกลางเซลล์

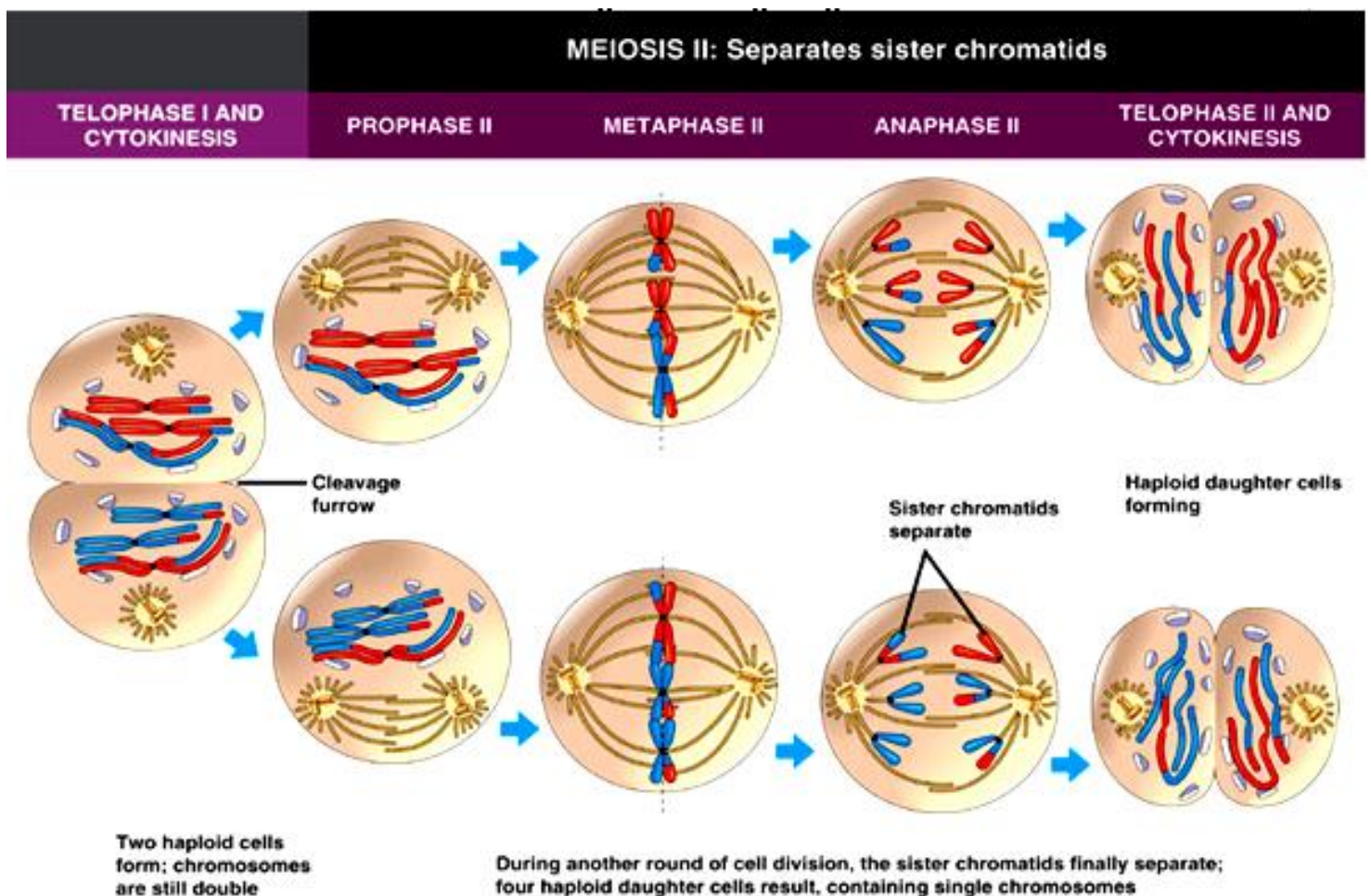
Anaphase 2

- มีการแยกโครมาทิดออกจากกัน ทำให้จำนวนชุดโครโมโซมเพิ่มจาก n
- เป็น $2n$ ชั่วขณะ

Telophase 2

- มีการแบ่งไซโทพลาสซึม จนได้เซลล์ใหม่ 4 เซลล์ ซึ่งแต่ละเซลล์ มีโครโมโซม เป็น n
- ใน 4 เซลล์ที่เกิดขึ้นนั้น จะมียีนเหมือนกันอย่างละ 2 เซลล์ ถ้าไม่เกิดครอสซิง โอเวอร์ หรืออาจจะมียีนต่างกันทั้ง 4 เซลล์ ถ้าเกิดครอสซิงโอเวอร์ หรืออาจมียีนต่างกัน ทั้ง 4 เซลล์ถ้าเกิดครอสซิงโอเวอร์

ระยะ	การเปลี่ยนแปลงสำคัญ
อินเตอร์เฟส I	จำลองโครโมโซมขึ้นมาอีก 1 เท่าตัว แต่ละโครโมโซม ประกอบด้วย 2 โครมาทิด
โพรเฟส I	ไฮโมโลกัส โครโมโซม มาจับคู่แนบชิดกัน (synapsis) ทำให้มีกลุ่มโครโมโซม กลุ่มละ 2 ท่อน (bivalent) แต่ละกลุ่ม ประกอบด้วย 4 โครมาทิด(tetrad) และเกิดการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนของโครมาทิด (crossing over)
เมตาเฟส I	คู่ของไฮโมโลกัส โครโมโซม เรียงตัวอยู่ตามแนวศูนย์ กลางของเซลล์
แอนาเฟส I	ไฮโมโลกัส โครโมโซม แยกคู่ออกจากกัน ไปยังแต่ละข้างของขั้วเซลล์
ทีโลเฟส I	เกิดนิวเคลียสใหม่ 2 นิวเคลียส แต่ละนิวเคลียส มีจำนวนโครโมโซม เป็นแฮพลอยด์ (n)
อินเตอร์เฟส II	เป็นระยะพักชั่วคราว แต่ไม่มีการจำลอง โครโมโซมขึ้นมาอีก
โพรเฟส II	โครโมโซมหดสั้นมาก ทำให้เห็นแต่ละโครโมโซม มี 2 โครมาทิด
เมตาเฟส II	โครโมโซมจะมาเรียงตัว อยู่แนวศูนย์กลางของเซลล์
แอนาเฟส II	เกิดการแยกของโครมาทิด ที่อยู่ในโครโมโซมเดียวกัน ไปยังขั้วแต่ละข้างของเซลล์ ทำให้โครโมโซม เพิ่มจาก n เป็น 2n
ทีโลเฟส II	เกิดนิวเคลียสใหม่เป็น 4 นิวเคลียส และแบ่งไซโทพลาสซึม เกิดเป็น 4 เซลล์ สมบูรณ์ แต่ละเซลล์ มีจำนวนโครโมโซม เป็นแฮพลอยด์ (n) หรือ เท่ากับครึ่งหนึ่ง ของเซลล์เริ่มต้น



MITOSIS

MEIOSIS

