สรีรวิทยาของเต้านมโค

Mammary Gland Physiology of the Cattle

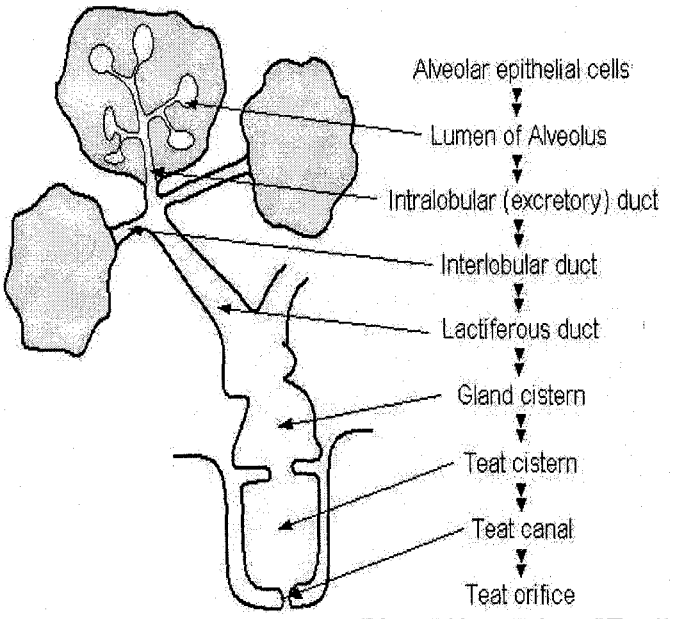
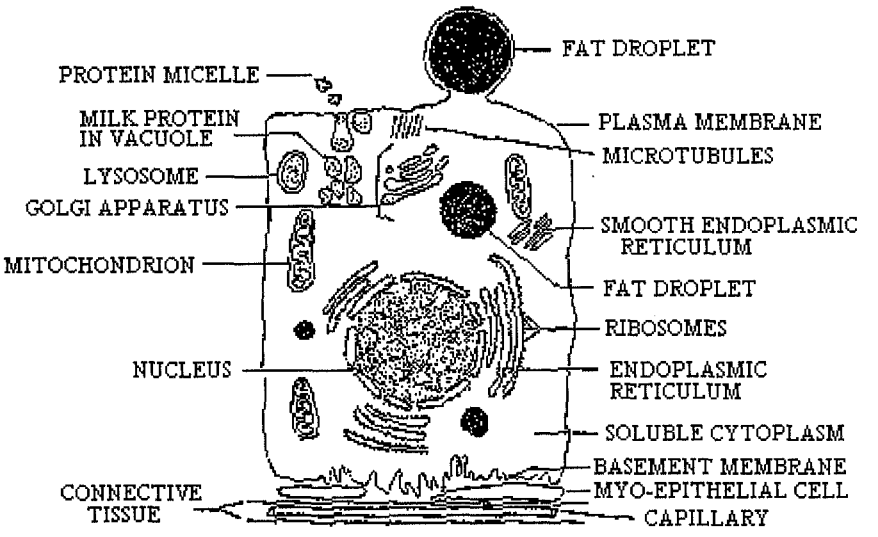


DIAGRAM OF A LACTATING MAMMARY CELL



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สัตวแพทย์หญิง ดร.ศจีรา คุปพิทยานันท์

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สรีรวิทยาของเต้านม (โค)

(Mammary Gland Physiology of the Cattle)

ผศ.สพ.ญ.ดร.ศจีรา คุปพิทยานันท์

กายวิภาคศาสตร์ของเต้านม

(Mammary Gland Anatomy of the Cattle)

โครงสร้างภายนอก (External Anatomy)

โคมีเต้านม 4 เต้า แต่ละเต้าแยกจากกันโดยอิสระ อยู่ด้านล่างของลำตัว ระหว่างขาหลัง เต้านมแต่ละเต้ามีหัวนมจำนวน 1 หัว มีรูนมเพียง 1 รู เต้านมมีขนขึ้นประปรายยกเว้นบริเวณหัวนม เต้านมซ้ายและขวาจะแยกออกจากกันอย่างสิ้นเชิง ทำให้สามารถสังเกตเห็นร่องแบ่งจากภายนอกได้อย่างชัดเจน เต้านมคู่หลังมีน้ำหนักคิดเป็น 55-60% ของน้ำหนักเต้าโดยรวม และมีปริมาณการผลิตน้ำนมคิดเป็น 55-60% ของปริมาณน้ำนมที่สร้างโดยรวม หัวนมของเต้านมคู่หน้ามักจะสั้นกว่าเต้านมคู่หลัง

หัวนม (Teats)

เป็นทางออกของน้ำนม โดยทั่วไปแล้วหัวนม 1 หัวจะรับน้ำนมมาจากเต้านม 1 เต้า ไม่มีขนต่อมเหงื่อ และต่อมไขมัน ขนาดและรูปร่างของหัวนมไม่ขึ้นกับขนาด รูปร่าง หรือการสร้างน้ำนมของเต้านม โดยเฉลี่ยหัวนมของเต้านมคู่หน้าจะมีความยาวประมาณ 6.6 เซนติเมตร (2.6 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.9 เซนติเมตร (1.1 นิ้ว) ส่วนหัวนมของเต้านมคู่หลังจะมีความยาวประมาณ 5.2 เซนติเมตร (2.1 นิ้ว) เส้นผ่าศูนย์กลาง 2.6 เซนติเมตร (1.0 นิ้ว)

หัวนมเกิน (Supernumerary Teats)

ประมาณ 50% ของโคมีหัวนมเกิน มีส่วนน้อยที่หัวนมเกินเหล่านี้จะมีรูเปิดเชื่อมกับเต้านม โดยส่วนใหญ่แล้วจะไม่มี โดยทั่วไปหัวนมเกินจะถูกตัดก่อนที่จะอายุได้ 1 ปี หัวนมเกินเหล่านี้จะไม่มีรูนม (streak canal) ดังนั้นจึงไม่มีการเชื่อมต่อกับโครงสร้างภายในของเต้านม

รูนม (Streak canal)

เป็นรูเปิดของเต้านมที่ทำหน้าที่กั้นระหว่างโครงสร้างภายในเต้านมและสิ่งแวดล้อมภายนอก รูนมจัดว่าเป็นด่านหลักที่ป้องกันการติดเชื้อ ผนังของรูนมถูกบุด้วยชั้นของหนังกำพร้า โดยปกติรูนมจะปิดอยู่เกิดขึ้นเนื่องจากการหดตัวของกล้ามเนื้อหูรูดรอบรูนม ความตึง (patency) ของรูจะลดลง ความยาวของรูนมจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนครั้ง (lactation) ของการให้นมเพิ่มขึ้น

Furstenburg's Rosette

เป็นแผ่นของเยื่อบุผิวที่พับไปมา อยู่บริเวณปลายรูเปิดด้านในสุดของรูนม แผ่นพับนี้อาจจะม้วนกลับมาปิดรูหัวนมซึ่งเกิดขึ้นได้เนื่องจากแรงดันในเต้านมที่มีน้ำนมจำนวนมาก เป็นตำแหน่งที่เม็ดเลือดขาวลิมโฟไซต์สามารถเล็ดลอดออกไปสู่โพรงหัวนมได้

Cricoid rings

เป็นกล้ามเนื้อเรียบวงแหวน ตำแหน่งอยู่ระหว่างจุดเชื่อมต่อของโพรงหัวนมกับโพรงเก็บน้ำนม (gland cistern)

โพรงหัวนม (Teat Cistern)

เป็นโพรงภายในหัวนม จะเชื่อมกับโพรงเก็บน้ำนม เยื่อบุผิวด้านในของโพรงหัวนมจะยื่นออกมาและมีการจัดเรียงตัวทั้งแบบตามยาวและตามขวางทำให้มีรูปร่างคล้ายถุง

ระบบค้ำจุน (Suspensory System)

เต้านมต้องการระบบค้ำจุนที่แข็งแรงเพื่อช่วยพยุงให้ติดอยู่กับร่างกายได้ ตัวอย่างเช่น แม่โคจะต้องรับน้ำหนักของเต้านมในขณะที่ยังไม่มีน้ำนมมาสะสมประมาณ 50 ปอนด์ และน้ำหนักจะเพิ่มขึ้นอีก 60 ปอนด์หลังจากสร้างน้ำนมเสร็จก่อนการรีดนม รวมน้ำหนักทั้งหมดที่แม่โคต้องแบกรับเป็น 110 ปอนด์ เนื่องจากเต้านมจัดเป็นต่อมของผิวหนังดังนั้นจึงแขวนอยู่ภายนอกร่างกาย ดังนั้นระบบค้ำจุนจึงมีส่วนสำคัญเป็นอย่างมากในการที่โคจะผลิตน้ำนมได้อย่างประสบความสำเร็จ

ระบบค้ำจุนเต้านมโคประกอบด้วย โครงสร้างจำนวน 7 โครงสร้างต่อไปนี้

1. ผิวหนัง เป็นส่วนที่มีความสำคัญน้อยกว่าส่วนอื่นๆ
2. Superficial fascia หรือ areolar subcutaneous tissue มีหน้าที่ยึดผิวหนังกับเนื้อเยื่อที่อยู่ด้านล่าง
3. Coarse areolar หรือ cordlike tissue เป็นโครงสร้างซึ่งประกอบขึ้นมาจากผิวด้านหน้าของเต้านมคู่หน้าและผนังหน้าท้อง ซึ่งจัดได้ว่าเป็นส่วนที่ช่วยพยุงเต้านมคู่แรก
4. Subpelvic tendon เอ็นนี้ไม่จัดว่าเป็นส่วนหนึ่งของระบบค้ำจุน แต่จะเจริญให้เป็น superficial และ deep lateral ligament การเชื่อมของเอ็นนี้กับกระดูกเชิงการไม่ได้เชื่อมต่อแบบเป็นผังพืด แต่จะเชื่อต่อเป็นจุดๆ
5. Superficial layers of lateral suspensory ligament ประกอบด้วย fibrous tissue เป็นส่วนใหญ่ มี elastic tissue จำนวนน้อย เจริญมาจาก subpelvic tendon มีทิศทางการวิ่งออกจากกระดูกเชิงกรานไปทั้งทางด้านหน้าและหลัง เมื่อถึงตำแหน่งของเต้านมจะแผ่ออก เพื่อเชื่อมกับชั้นใต้ผิวหนังของเต้านมทางด้านล่าง และเชื่อมกับ areolar tissue

6. Deep lateral suspensory ligament หนากว่า superficial layers of lateral suspensory ligament ประกอบด้วย fibrous tissue เป็นส่วนใหญ่เจริญมาจาก subpelvic tendon เช่นเดียวกันกับ superficial layers of lateral suspensory ligament มีทิศทางของการวิ่งผ่านมาทางด้านล่างของเต้านมและปกคลุมพื้นที่ทั้งหมด นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับส่วนโค้งด้านข้างของเต้านม โดย lamellae จำนวนมากซึ่งผ่านเข้าไปเชื่อมกับเนื้อเยื่อประสานซึ่งเป็นโครงสร้างภายในของเต้านม deep Lateral suspensory ligament นี้ยังไม่จัดว่าเป็นส่วนสำคัญที่สุดของระบบค้ำจุนเต้านมโค เนื่องจากด้านซ้ายและขวาของ ligament ไม่ได้มาบรรจบกันที่ด้านล่างของเต้านม และเนื่องจากคุณลักษณะของ ligament ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชนิด fibrous tissue ทำให้ไม่สามารถที่จะยืดได้มากเมื่อมีน้ำนม ดังนั้นจึงทำให้เต้านมแต่ละเต้ามีแนวโน้มที่จะถูกดึงออกไปด้านข้างมากกว่าถูกดึงลงทางด้านล่าง
7. Median suspensory ligament จัดว่าเป็นโครงสร้างของระบบค้ำจุนที่สำคัญที่สุดในโค ประกอบด้วยแผ่น elastic sheet สีเหลือง มีน้ำหนัก จำนวน 2 ชิ้น ที่เจริญจากผนังช่องท้อง และเชื่อมต่อกับผนังด้านในซึ่งแบ่งเต้านมเป็นซีกขวา-ซ้าย (เต้านมคู่หน้าและหลังจะถูกกั้นโดย membrane บางๆ เนื่องจากแต่ละเต้ามี membrane กั้นทำให้แยกกันโดยอิสระ ดังนั้นหากฉีดสีเข้าทางรูนม สีจะคั่งอยู่ที่เต้านมเต้านั้นๆ ไม่มีการเคลื่อนผ่านไปยังเต้าอื่นๆ) ส่วน ligament นี้มีความยืดหยุ่นและสามารถรับน้ำหนักได้สูง จึงสามารถรับน้ำหนักเต้านมได้เมื่อมีการสร้างน้ำนมและทำให้น้ำหนักของเต้านมเพิ่มขึ้น นอกจากนี้แล้วยังมีตำแหน่งอยู่ตรงจุดศูนย์กลางของน้ำหนักเต้านม ทำให้เกิดความสมดุล ดังนั้นแม้หากตัดส่วนอื่นๆ ออกไปแล้วเต้านมสามารถรักษาสมดุลได้ด้วย ligament นี้

โครงสร้างภายใน (Interior Anatomy)

โครงสร้างภายในของเต้านมประกอบด้วยเนื้อเยื่อประสาน (Connective tissue) ได้แก่ เนื้อเยื่อเกี่ยวพันชนิดคอลลาเจน และเนื้อเยื่อไขมัน เนื้อเยื่อของต่อมน้ำนม (Secretory tissue) ได้แก่ เซลล์เยื่อบุชั้นเดียวทำหน้าที่สร้างน้ำนม (secretory epithelial cell) สัดส่วนของเนื้อเยื่อทั้งสองชนิดนี้แตกต่างกันไปในสัตว์แต่ละตัว ระยะของการการพัฒนาเต้านม หรือแม้แต่ตำแหน่งภายในเต้านมเอง

โพรงเก็บน้ำนม (Gland cistern)

มีรูเปิดติดต่อกับรูหัวนม อาจพบได้ว่าช่องดังกล่าวนี้มีผนังกั้น ทำให้ช่องไม่เปิดเกิดลักษณะที่เรียกว่าหัวนมบอด ซึ่งสามารถแก้ไขโดยการทำศัลยกรรม ทำหน้าที่เก็บน้ำนมโดยสามารถเก็บได้ประมาณ 100-400 มิลลิลิตร โพรงเก็บน้ำนมมีขนาดและรูปร่างแตกต่างกันออกไป บริเวณปลายด้านบนที่จะต่อเข้ากับท่อนมจะมีลักษณะคล้ายถุง ท่อรวมนมซึ่งทำหน้าที่รวบรวมน้ำนมจากท่อขนาดเล็ก อาจเรียกว่า cisternal duct

การจัดโครงสร้างเนื้อเยื่อของต่อมน้ำนม (Organization of Secretory Tissues)

เนื้อเยื่อของต่อมน้ำนมจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่มเรียก lobe แต่ละ lobe จะประกอบด้วยหลายๆ lobule ซึ่งแต่ละ lobule นี้จะมีกระเปาะนม (alveoli) อยู่ประมาณ 150-220 อัน

กระเปราะนม (Alveoli)

มีโครงสร้างเป็นถุงกลวง ทำหน้าที่สังเคราะห์และหลั่งน้ำนมที่สร้าง เป็นหน่วยที่สร้างน้ำนม ผนังของกระเปราะนมบุด้วยเซลล์เยื่อบุชั้นเดียว รอบเซลล์เหล่านี้มีเซลล์กล้ามเนื้อเรียบล้อมรอบ ซึ่งเมื่อเซลล์เหล่านี้หดตัวภายใต้การควบคุมของฮอร์โมนออกซ์ซีโตซินก็จะทำให้กระเปราะนม เข้าสู่โพรงในถุงและต่อไปยังท่อขนาดเล็ก เซลล์กล้ามเนื้อเรียบจะถูกหุ้มรอบอีกชั้นหนึ่งด้วย เนื้อเยื่อประสาน กลุ่มของเส้นเลือดฝอยรอบนอกกระเปราะนมจะแทรกอยู่ระหว่างเนื้อเยื่อค้ำจุน รอบๆ กระเปราะนม กลุ่มของกระเปราะนมจะมองดูคล้ายพวงองุ่น ท่อของกระเปราะนมจะเทียบได้กับขั้วของลูกองุ่น

Lobule

เป็นกลุ่มของกระเปราะนมประมาณ 150-220 ที่ถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาน แต่ละ lobule มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.7-0.9 มิลลิเมตร

Lobe

เป็นกลุ่มของ lobule ที่มารวมกันและถูกหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสาน ในเต้านมจะประกอบด้วยหลาย lobule

Duct System

เป็นระบบท่อที่รับนมจากกระเปราะนมเพื่อส่งไปยังโพรงเก็บน้ำนม Interlobar lobe หรือท่อปฐมภูมิจะรับน้ำนมจากหลายๆ lobule อีกทอดหนึ่ง ผนังของท่อประกอบด้วยเยื่อบุสองชั้นที่ไม่ใช่ชนิดเดียวกับที่บุผนังของกระเปราะนม และจะมีเซลล์กล้ามเนื้อเรียบแทรกอยู่เป็นจำนวนมาก Interlobular duct เป็นท่อที่อยู่ภายใน lobe รับน้ำนมมาจากหลายๆ ตำแหน่งใน lobe

ระบบเส้นเลือด

เลือดที่มาเลี้ยงเต้านมถือได้ว่ามีความสำคัญมากที่สุดต่อการทำงานหรือทำหน้าที่ของเต้านม เนื่องจากสารตั้งต้นในน้ำนมทั้งหมดมาจากเลือด โดยเฉลี่ยเลือด 400-500 หน่วยจะผ่านไปยังเต้านมเพื่อสร้างน้ำนม 1 หน่วย ในโคที่ให้ผลผลิตน้ำนมสูง นั่นคือประมาณ 280 มิลลิลิตรต่อวินาที หรือประมาณ 1 แกลลอนของเลือดต่อเวลา 3.5 วินาที

ในแพะที่ให้ผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับโคที่ให้ผลผลิตต่ำ (1000:1) จะพบว่าสัดส่วนของการไหลผ่านเลือดไปยังเต้านมที่น้อยกว่า นั่นคือประมาณ 460:1 นั่นหมายถึงว่าปริมาตรเลือดที่ไปยังเต้านมจะไม่แตกต่างในแพะที่ให้ผลผลิตสูงและที่ให้ผลผลิตต่ำ แต่ประสิทธิภาพในการสกัดเอาสารประกอบจากเลือดขณะที่มันไหลผ่านเต้านมจะมีความสำคัญ ซึ่งหลักการนี้คล้ายคลึงกับที่เกิดขึ้นในโค

ระบบเส้นเลือดแดง

เลือดออกจากหัวใจและไหลเข้าสู่ด้านท้ายของวัวโดยเส้นเลือดแดงใหญ่ของท้อง (abdominal aorta) จากนั้นเลือดเข้าสู่ส่วนเชิงกรานของสัตว์โดยเส้นเลือดที่เรียกว่า common iliac arteries จากนั้นเส้นเลือดดังกล่าวจะแยกเข้าสู่เส้นเลือด internal และ external arteries ตามลำดับ ซึ่ง external arteries นี้จะกลายเป็น prepubic artery ซึ่งจะแตกแขนงให้เป็น posterior abdominal artery และ external pudic หรือ external pudendal artery เส้นเลือดนี้จะผ่านไปยังขาหนีบและออกจากช่องท้อง เมื่อเส้นเลือดนี้ผ่านขาหนีบออกมาจะมีชื่อเรียกใหม่ว่าเส้นเลือดแดงเต้านม หรือ mammary artery มีเส้นผ่าศูนย์กลาง ประมาณ 1 เซนติเมตร เมื่อเส้นเลือดนี้มาเลี้ยงเต้านม ก็จะแตกแขนงให้เป็นด้านหน้าและด้านหลัง(posterior หรือ caudal mammary artery) ซึ่งทั้งสองเส้นก็จะแตกแขนงย่อยต่อไปอีกเพื่อไปเลี้ยงส่วนต่างๆของเต้านมอย่างทั่วถึง

เลือดปริมาณเล็กน้อยยังสามารถไปสร้างเต้านมโดยผ่านทาง perineal artery ซึ่งเป็นแขนงของ internal iliac artery แต่เส้นเลือดนี้จะมาเลี้ยงเฉพาะส่วนหลังด้านบนของเต้านมเท่านั้น

Sigrnoid flexures ต่ำจากขาหนีบ pudic artery จะ form เป็น s-shaped flexures ซึ่งการฟอร์มเป็นรูปร่างควรจะให้ลดความตึงเครียดของเส้นเลือด เมื่อเต้านมมีน้ำนมจำนวนมากทำให้เส้นเลือดไม่ฉีกขาด จะไม่มีการ cross over ของเลือดที่มาเลี้ยงเต้านมซ้ายและขวา

ระบบเส้นเลือดดำ

เส้นเลือดดำออกจากเต้านมคู่ขนานกับเส้นเลือดแดง แต่เลือดเดินทางในทิศทางตรงกันข้าม มีเส้นเลือดที่สำคัญ 3 เส้นคือ external pudic vein นำเลือดเสียออกจากเต้านมตรงข้ามกับการ

นำเลือดดีเข้ามา external pudic artery (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 เซนติเมตร) subcutaneous abdominal vein หรือ milk vein ออกจากเต้านมที่ตำแหน่งด้านหน้าสุดของเต้านมคู่แรก และวิ่งผ่านไปตามผนังหน้าท้อง เส้นผ่าศูนย์กลาง 1-2.5 เซนติเมตร จัดเป็นเส้นเลือดดำขนาดใหญ่ที่มองเห็นได้ชัดเจนใต้ผิวหนังที่ท้องของวัว เส้นเลือดดำนี้จะเข้าสู่ช่องว่างของร่างกายที่ตำแหน่งลิ้นปี่ หรือ milk wells และจะส่งเลือดดำเข้าสู่ vena cava perineal vein จะออกจากด้านหลังของเต้านมวิ่งสวนคู่ขนานกับ perineal artery (เส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 ซม.) เส้นเลือดดำนี้จะนำเลือดดำประมาณ 10% มาที่อกจากเต้านมทั้งหมด

Venous circle เป็นโครงสร้างที่เกิดจากการเชื่อมกันของ anterior และ posterior veins เป็นการป้องกันไม่ให้เส้นเลือดฉีกขาดเมื่อวัวล้มตัวลงนอน

ระบบประสาท

(Nervous System)

มีข้อสรุปเกี่ยวกับระบบประสาทที่มาเลี้ยงเต้านมอยู่หลายประการดังนี้

- เส้นประสาทที่เต้านมมีน้อยเมื่อเทียบกับเนื้อเยื่ออื่นๆ
- ระบบประสาทซิมพาเทติกจะเกี่ยวข้องกับการทำงานของเส้นเลือดแดง แต่ไม่ได้เกี่ยวกับกระเปาะนม
- เส้นประสาทรับความรู้สึกพบได้ที่หัวนมและผิวหนัง ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับวิถีของ milk ejection reflex
- ไม่มีการมาเลี้ยงของพาราซิมพาเทติกที่เต้านมซึ่งคล้ายคลึงกับต่อมต่างๆของผิวหนัง
- ไม่มีการมาเลี้ยงของเส้นประสาทที่ระบบต่อม กล้ามเนื้อเรียบของกระเปาะนมไม่ได้ถูกเลี้ยงด้วยระบบประสาท กล้ามเนื้อเหล่านี้ไม่ได้หดตัวโดยการกระตุ้นจากระบบประสาท แต่หดตัวภายใต้การควบคุมของฮอร์โมน
- มีเส้นประสาทเพียงเล็กน้อยที่ไปเลี้ยงเต้านมด้านล่าง การเก็บชิ้นเนื้อของต่อม (biopsy) สามารถกระทำได้โดยการให้ยาสลบเฉพาะที่ ที่ระดับเนื้อเยื่อ

น้ำเหลืองและต่อมน้ำเหลือง

สารหลายชนิดหลายขนาดสามารถหลุดลอดออกจากเส้นเลือดฝอย แต่ไม่สามารถกลับเข้าไปในเส้นเลือดฝอยได้ เช่น โปรตีน ซึ่งเป็นสารโมเลกุลใหญ่ และรวมถึงสารต่างๆ สารคัดหลั่งที่มีอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ หากสารเหล่านี้ตกอยู่ในช่องว่างระหว่างเซลล์ จะทำให้เกิดการขัดขวางความดันออสโมติกในเนื้อเยื่อ รบกวนการขนส่งผ่านของสารที่ผ่านเข้าออกเส้นเลือดฝอย น้ำส่วนเกิน (หรือที่เรียกน้ำระหว่างเซลล์) จะมีการสะสมในช่องว่างระหว่างเซลล์ ทำให้เกิดการบวมน้ำ (edema)

หน้าที่ของระบบน้ำเหลือง

- ของเหลวนอกเซลล์จะถูกขับออกเนื้อเยื่อ และนำกลับเข้าสู่ระบบไหลเวียนทางระบบน้ำเหลือง
- ระบบน้ำเหลืองประกอบด้วยเซลล์เม็ดเลือดขาว โดยเฉพาะลิมโฟไซต์ของแมคโครฟาจในต่อมน้ำเหลือง ลิมโฟไซต์เหล่านี้จะทำให้เกิดการตอบสนองทางด้านอิมมูนต่อแบคทีเรียและสิ่งแปลกปลอม
- ระบบน้ำเหลืองจะทำหน้าที่ขนส่งสารประกอบบางชนิดที่ถูกดูดซึมบริเวณลำไส้ (ไขมัน)

ระบบน้ำเหลืองเริ่มต้นจากช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อ เส้นน้ำเหลืองมีขนาดเล็กและบาง ผนังประกอบด้วย endothelial cell เส้นน้ำเหลืองจะมีความคล้ายกับเส้นเลือดฝอย แต่มีข้อแตกต่างกันคือจะยอมให้มีการผ่านของสารได้ง่ายกว่า ไม่มี basement membrane เส้นน้ำเหลืองฝอยเหล่านี้จะรวมตัวกันแล้วเข้าสู่เส้นน้ำเหลืองขนาดใหญ่ ทิศทางการไหลของน้ำเหลือง จะมีทิศออกจากเนื้อเยื่อเข้าสู่เส้นน้ำเหลืองขนาดใหญ่ ผ่านไปที่ต่อมน้ำเหลืองก่อนจะไปเส้นเลือดดำใหญ่ vena cava น้ำเหลืองจะเป็นของเหลวที่ใส ไม่มีสี องค์ประกอบคล้ายกับ พลาสม่า การเปลี่ยนแปลงที่พลาสม่าจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่น้ำเหลืองด้วย ความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำเหลืองจะต่ำกว่าในพลาสม่า (1.5%ในน้ำเหลือง 6%ในพลาสม่า) โปรตีนบางชนิดของน้ำเหลืองก็แตกต่าง เช่น อัลบูมินจะมีขนาดโมเลกุลที่เล็กกว่าโกลบูลินและสามารถเล็ดลอดออกจากเส้นน้ำเหลืองได้ดีกว่าโกลบูลิน ดังนั้น อัตราการผ่านของอัลบูมิน โกลบูลินเป็น 1.8 ในพลาสม่า และ 2.5 ในน้ำเหลือง ความเข้มข้นของโปรตีนในน้ำเหลืองจะแปรผันตรงข้ามกับอัตราการผลักของเหลวของน้ำเหลือง อัตราการกรองก็จะแปรผันกับเนื้อเยื่อในตับและลำไส้เล็ก น้ำเหลืองมีโปรตีน 5% เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนแขนขาซึ่งมีโปรตีน~0.5%

อัตราการไหลของน้ำเหลืองจะต่ำ ถูกควบคุมด้วยอัตราการสร้างน้ำเหลือง ตัวอย่าง ถ้าความดันของเส้นเลือดฝอยเพิ่มขึ้นเนื่องจากเส้นเลือดขยายตัวหรือเส้นเลือดดำหดตัว อัตราการไหลจะเพิ่ม เช่นเดียวกัน อัตราการไหลขึ้นกับการกดที่เส้นน้ำเหลืองโดยการหดตัวของกล้ามเนื้อหรือเนื่องจากแรงดันที่เกิดจากกดของช่วงอก(ขณะหายใจ) วาวล์ของเส้นน้ำเหลืองจะป้องกันการไหลย้อนกลับในเต้านม ระบบน้ำเหลืองเกือบทั้งหมดจะไหลผ่าน supramammary lymph node ซึ่งจะมีอยู่ประมาณ 1หรือ 2 ต่อเต้านม 2 ข้าง แต่บางครั้งอาจพบ 7 ต่อมต่อเต้านม 1 ข้าง จะมีขนาดประมาณ 7x5x2 ซม. โดยเฉลี่ยทั่วไปจะมีต่อมน้ำเหลืองอีกหลายต่อมอยู่ในเต้านม (จัดเป็นต่อมน้ำเหลืองด้วย) พบได้ใต้ผิวหนังตื้นๆ เส้นน้ำเหลืองจะผ่านออกจากเต้านมเข้าสู่ร่างกายทางขาหนีบ คล้ายกับเส้นเลือดและในจำนวนของน้ำเหลืองที่สร้างนี้ส่วนใหญ่มาจากหัวนม

ภาวะบวมน้ำ

เป็นการสะสมของเหลวในช่องว่างระหว่างเซลล์ซึ่งจะทำให้รบกวนการเกิดเปลี่ยนสารอาหารและการเทของเสียจากกระบวนการเมตาบอลิซึม อัตราการกรองของเหลวที่มีมากกว่าอัตราการดูดกลับของเส้นเลือดดำและเส้นน้ำเหลือง อย่างไรก็ตามแต่ที่ทำให้เกิดการเพิ่มความดันของเส้นเลือดฝอย เช่น การลดลงของความเข้มข้นของโปรตีนในพลาสม่า การที่เส้นเลือดฝอยเพิ่มความสามารถในการผ่านเข้าออกของสารให้มากขึ้นเพื่อการอุดตันของท่อน้ำเหลือง ทำให้เกิดการบวมและ.คลั่งของของเหลวนอกเซลล์หรือหลอดเลือดขึ้น

การบวมน้ำของเต้านม คือ การบวมของเต้านมเกิดขึ้นได้บ่อยโดยเฉพาะในโคท้องแรกหลังคลอด น้ำจะสะสมอยู่ระหว่างผิวหนังและเนื้อเยื่อเต้านม เช่นเดียวกับในเต้านมด้วยเช่นกัน ผิวหนังจะมีความหนาประมาณ ¼ นิ้ว รวมทั้งชั้นใต้หนัง แต่ขณะที่เกิดการบวมน้ำ เต้านมจะหนาได้ถึง 2 นิ้ว การบวมน้ำที่รุนแรงสามารถทำให้เกิดการปวดการเสียดของโครงสร้างที่ผิวหน้าที่ในการพยุงเต้านมได้ เต้านมบวมน้ำมักจะเกิดจากการไม่สมดุลของความดันไฮโดรลาสติกและออสโมติก ซึ่งจะทำให้เกิดการเพิ่มอัตราการไหลออกจากเส้นเลือดฝอยเข้าสู่ช่องว่างระหว่างเนื้อเยื่อ อาจเกิดจากการถูกทำลายของผนังเส้นเลือดฝอย หรือการอุดตันของท่อน้ำเหลือง ยังไม่ทราบสาเหตุว่าเกิดขึ้นได้อย่างไร ในมนุษย์พบว่าการรับประทานเกลือจำนวนมาก การดื่มน้ำเป็นจำนวนมาก และการที่อุณหภูมิสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น และการทำลายเส้นประสาทอาจมีผลกระทบต่อการบวมน้ำ อัตราการไหลของน้ำเหลืองในเต้านมแพะ (ระยะให้นม) 6-5-35 ml/hr หรือ 150-840 ml/day โค (แห้งนม) 14-240 ml/hr หรือ 68-5760 ml/day โค (ระยะให้นม) 1300 ml/hr หรือ 31200 ml/day หรือ 31 kg/day ประมาณ 1.6 หน่วยของน้ำเหลืองที่ไหลออกจากเต้านมต่อ 1 หน่วยน้ำนมที่ผลิต

กายวิภาคศาสตร์เต้านมเปรียบเทียบ

(Comparative Mammary Gland Anatomy)

Monotremes คือ สัตว์เลี้ยงลูกด้วยน้ำนมที่ออกลูกเป็นไข่ สัตว์กลุ่มนี้จัดได้ว่าเป็นกลุ่มที่มีเต้านมเป็นแบบโบราณมากที่สุด

Duck – billed Platylus (Ornithorhynchua):

วางไข่และฟักออกเป็นตัวในอุโมงค์ใต้ดิน มีลักษณะคล้ายคลึงพวกนกมากที่สุด ไข่จะฟักในเวลาประมาณ 10 – 14 วัน ลูกอ่อนอาศัยน้ำนมจากแม่เป็นอาหารประมาณ 3 – 4 เดือน แม่ไม่มีหัวนม น้ำนมจะถูกหลั่งจากต่อมที่มีลักษณะเป็นท่อ (100 – 150 อัน) มีรูเปิดที่บริเวณฐานของเส้นบนที่แข็ง ต่อมจะเป็นต่อมคู่ (ซ้ายและขวา) ท่อคัดหลั่งนี้มีการเรียงตัวของเซลล์ 2 ชั้น ชั้นในทำหน้าที่สร้างน้ำนมและชั้นนอกเป็นกล้ามเนื้อเรียบช่วยในการหดตัวบีบไล่น้ำนม ไม่มีส่วนของ

โครงสร้างภายในที่เป็นแหล่งเก็บสะสมน้ำนม น้ำนมจะถูกหลั่งออกไปที่ฐานเส้นบนและลูกจะเลียกิน

Porcupine (Australian) anteater (Tachy glossus aculeatus):

บางครั้งเรียกว่า echidna หรือ spiny anteater วางไข่โดยไข่จะเคลื่อนไปที่กระเป๋าหน้าท้องเต้านมอยู่ในถุงหน้าท้องใต้ผิวหนัง ไม่มีหัวนม น้ำนมจะถูกรวบรวมจากท่อต่างๆเข้าสู่ indentation ในผิวหนังซึ่งจะถูกเลียกินโดยลูกอ่อน ไม่มีโครงสร้างที่ทำหน้าที่รวมหัวนม แต่การหลั่งน้ำนมเป็นไปตามการเกิด milk ejection เช่นสัตว์อื่นๆ

Marsupials

ใน marsupials ลูกอ่อนคลอดหลังจากการตั้งท้องในระยะเวลาอันสั้น แม่มีรกแต่ไม่จัดว่าเป็นรกที่แท้จริง

Mammary Wallaby – จิงโจ้ (Macropus eugenii)

- ลูกอ่อนหนักเพียง 200 มิลลิกรัมแรกคลอด และอยู่ในสภาพที่มีการพัฒนาที่ไม่สมบูรณ์เต็มที่ ลูกอ่อนจะหาทางไปยังถุงหน้าท้องตำแหน่งที่อยู่ของเต้านม
- เต้านมจะอยู่ที่ถุงหน้าท้องบริเวณขาหนีบ
- มีหัวนม ดังนั้น น้ำนมแต่ละเต้าก็จะไหลเข้าสู่หัวนม (4 เต้า เต้าละ 1 หัว) แต่ละหัวนมมีรูเปิดประมาณ 10 – 20 รู
- ลูกอ่อนจะดูดติดหัวนมอยู่ตลอดเวลาและแขวนอยู่อย่างนั้นเป็นเวลาหลายเดือน
- แต่ละเต้าจะพัฒนาโดยไม่แยกกันโดยอิสระและการพัฒนาจะขึ้นกับการดูดของลูกอ่อน หัวนมจะพัฒนาขนาดขึ้นเช่นเดียวกับลูกอ่อน
- ไม่มีแอ่งรวมนม จึงจัดได้ว่าไม่มีที่รวบรวมนมก่อนปล่อยลงสู่หัวนม

Eutherian mammals

ต่อไปจะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับกายวิภาคศาสตร์ของเต้านมของแพะ แกะ ม้า และสุกร ซึ่งควรได้นำไปเปรียบเทียบกับกายวิภาคศาสตร์ของเต้านมโคอย่างที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 1

- เมื่อเต้านมมีการวิวัฒนาการมากขึ้นเท่าไหร่ การหลั่งของน้ำนมจะมีองค์ประกอบที่คล้ายคลึงกับซีรั่มน้อยลงเท่านั้น เซลล์คัดหลั่งจะมีหน้าที่สังเคราะห์องค์ประกอบน้ำนมมากขึ้นมากกว่าการที่จะเป็นทางผ่านของสารประกอบจากเลือดไปสู่น้ำนมเท่านั้น
- เพศผู้มีส่วนของโครงสร้างของเต้านมที่ยังหลงเหลืออยู่คือท่อและหัวนม ยกเว้น หนู ไมส์และหนูแรทตัวผู้ที่ไม่มีหัวนม ม้าตัวผู้ไม่มีโครงสร้างของเต้านมเลย
- น้ำนมโดยทั่วไปใช้สำหรับลูกอ่อน ยกเว้นแต่น้ำนมจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง(โค แพะ แกะ) ใช้เป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ด้วย

- โคผลิตน้ำนมได้มากกว่า 100 – 200 เท่าของน้ำหนักตัวในแต่ละปี
- เต้านมของปลาวาพมีขนาด 1.5 เมตร (ยาว) x 0.65 เมตร (ลึก) x 0.2 เมตร (กว้าง) และหนักถึง ~ 250 ปอนด์ ปลาวาพสีน้ำเงินเจริญได้ถึง 200 ตันและยาวได้ถึง 100 ฟุต ลูกปลาวาพสีน้ำเงินโตได้ถึง 200 ปอนด์/วัน โดยได้น้ำนมวันละ 130 แกลลอน ช่วงของการกินน้ำนมแม่ประมาณ 40 วันหลังคลอด

แพะและแกะ

แพะและแกะที่กำลังให้นมจะมีเต้านม 2 เต้า แต่ละเต้าจะปล่อยน้ำนมสู่หัวนม ซึ่งมีท่ออยู่ภายใน(เป็นท่อเดี่ยว) ตำแหน่งของเต้านมอยู่หน้าท้องถัดจากขาหนีบ หัวนมมีขนาดแตกต่างกันไปในสัตว์แต่ละตัว หัวนมของแพะจะมีขนาดใหญ่กว่าหัวนมแกะ หัวนมแพะจะมีฐานที่กว้างและยื่นออกมาคล้ายกับกรวยจากเต้านม (มองเห็นรอยเชื่อมต่อไม่ชัด) มีขนละเอียดอ่อนที่บนหัวนม แกะมีหัวนมที่สั้นและเป็นทรงกระบอกคล้ายกับโคนม ระบบเส้นเลือดและน้ำเหลืองที่ไปเลี้ยงเต้านมของแพะและแกะคล้ายคลึงกับในโคนม

ม้า

ตำแหน่งเต้านมอยู่ที่หน้าท้อง ระบบเลือดและน้ำเหลืองคล้ายกับโคนม หัวนมมีลักษณะที่แบน กว้างและทู่ หัวนมแต่ละหัวมีรูนม 2 รู และมีโพรงรวมนม 2 อัน ดังนั้น ม้าจะมีเต้านม 4 เต้า คล้ายในโคนม แต่มีหัวนม 2 หัว ซึ่งจะมีรูนม 2 รูคล้ายสุกร

สุกร

มีเต้านมโดยเฉลี่ย 12 -14 เต้า (6 – 7 เต้าในแต่ละข้าง) อาจพบจำนวนเต้านมตั้งแต่ 6 – 32 เต้า เต้านมจะขนานกันเป็นแนวทั้ง 2 ด้านของแนวกลางลำตัวด้านท้อง อาจจะเป็นคู่หรือไม่เป็นคู่ก็ได้ (ซ้าย - ขวา) บางครั้งแต่ละด้านอาจเป็นคู่หรือคี่ก็ได้ เต้านมแต่ละเต้าจะประกอบด้วย 2 เต้าย่อย ซึ่งมีรูนม 2 รู ปล่อยลงสู่หัวนม ดังนั้น หัวนมสุกรจึงมีรูนม 2 รู ซึ่งเรียงตัวจากหน้าไปหลังของหัวนม 2 เต้าย่อยของเต้านมจะแยกกัน ดังนั้น เนื้อเยื่อที่สังเคราะห์น้ำนมจึงแยกจากกันโดยชัดเจน ค่าทางพันธุกรรมของจำนวนหัวนมมีค่าต่ำ (0.1 – 0.2) ดังนั้น จึงมีความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนหัวนมและลักษณะของความเป็นแม่ ทำให้การคัดเลือกสุกรสาวเพื่อเป็นแม่พันธุ์คัดดูที่จำนวนของหัวนม ซึ่งส่วนใหญ่จะต้องมีจำนวนหัวนมที่ไม่บอดจำนวนไม่น้อยกว่า 12 หัว สำหรับการจดมาตรฐานพันธุ์ สามารถพบหัวนมเกินในสุกร หัวนมแต่ละหัวมีรูนม 2 รู อาจมีถึง 3 หรือ 4 รู หัวนมกลับเข้าไปข้างในเป็นภาวะหนึ่งที่พบได้ซึ่งขึ้นกับพันธุกรรม ซึ่งจะก่อให้เกิดความยุ่งยากในการที่ลูกสุกรจะดูดนม เมื่อน้ำนมไม่สามารถออกมาได้แต่เซลล์ผลิตน้ำนมทำงานได้ตามปกติ ดังนั้น จะทำให้เกิดการเข้าอู่ของเต้านมเนื่องจากไม่มีการปล่อยนมออกได้ เลือดที่มาเลี้ยงเต้านมที่สำคัญมี 2 เส้นหลัก เส้นแรก คือ external pudic คล้ายในโคซึ่งผ่านไป

ด้านหน้าและ external thoracic ซึ่งผ่านไปด้านหลัง การไหลของเส้นเลือดดำจะมีทิศทางตรงข้ามกับเส้นเลือดแดง

การผลิตน้ำนมในสุกรจะประมาณ 6 – 10 ปอนด์/วัน มีระยะเวลาการผลิตสูงสุดที่ 2 – 4 สัปดาห์หลังคลอด แม่สุกร 1 ตัวจะให้น้ำนมประมาณ 500 ปอนด์/ระยะการให้นม ลูกสุกรจะดูดนมทุก ๆ 45 – 60 นาที เต้านมคู่หน้าจะผลิตน้ำนมได้มากกว่าคู่หลัง

กายวิภาคของเต้านมมนุษย์

หัวนมมนุษย์จะมีประมาณ 10 – 15 รู เต้านมจะเป็นโครงสร้างที่เป็นแผ่นไขมันซึ่งประกอบด้วยกระเปาะนมมากมาย ท่อแต่ละท่อที่เปิดที่รูหัวนมรับนมจาก lobe ของกระเปาะนม แต่ละ lobe ของกระเปาะนมจะถูกแบ่งกั้นด้วยเนื้อเยื่อประสานในเต้านมของหญิงที่ไม่ได้ตั้งครรภ์หรือไม่ได้นม จะมีไขมันแทรกเป็นจำนวนมาก เส้นเลือด เส้นประสาทและเส้นน้ำเหลืองจะวิ่งผ่านเนื้อเยื่อประสานเหล่านี้และปรากฏออกมาที่ด้านหน้าของทรวงอก หัวนม (nipple) ถูกล้อมรอบด้วยผิวหนังที่มีสีเข้มเป็นพิเศษ เรียก areola พบว่ามีต่อมน้ำมัน (Montgomery's follicles) และต่อมเหงื่อ บริเวณนี้จะไวต่อความรู้สึกเป็นพิเศษ มีเส้นประสาทจำนวน 4 เส้นแรกของกระดูกซี่โครงซึ่งจะเป็นตัวคอยรับความรู้สึก ขณะที่ลูกดูดนมส่งไปยังสมองและไขสันหลังซึ่งทำให้มีความสำคัญในการควบคุมการหลั่งออกซิโตซินจากต่อมใต้สมองส่วนหลังและโปรแลคตินจากต่อมใต้สมองส่วนหน้า ปลายท่อนมจะแผ่แบนออกเพื่อที่จะให้เป็นโครงสร้างคล้ายกับแอ่งรวมนมก่อนจะเปิดออกสู่ areola พื้นที่ของ areola ทั้งหมดจะพอดีกับขนาดของปากทารก ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นตัวกั้นไม่ให้หัวนมถูกดูดเข้าไปเมื่อทารกดูด ระหว่างที่การดูดนม น้ำนมจะไหลออกเป็นจำนวนน้อย แต่ท่าที่ทารกดูดโดยใช้แรงต้านระหว่างหัวนมและเพดานแข็งจะทำให้คล้ายกับการรีดนมจะทำให้น้ำนมออกมาเป็นจำนวนมาก

ตำแหน่งของเต้านม

ตำแหน่งเต้านมจะอยู่ด้านล่างสัตว์และด้านข้างเส้นกึ่งกลางลำตัวในสัตว์ทุกชนิด อย่างไรก็ตาม จะมีความแตกต่างกันในแง่ของจำนวนเต้านม และตำแหน่งที่อยู่บ้างเล็กน้อย โดยทั่วไปสามารถจัดกลุ่มของตำแหน่งเต้านมเป็นดังนี้

ด้านหน้า ได้แก่ ไพรเมท ช้าง สิงโตทะเล ค้างคาว

ด้านหลัง ได้แก่ ingulate ปลาวาฬ

ด้านหน้าไปด้านหลัง (ตลอดแนว) ได้แก่ สุกร หนูแรท หนูไมส์

เปรียบเทียบเต้านมในสัตว์แต่ละชนิด

Simple gland: เป็นลักษณะของเต้านมที่น้ำนมส่งออกไปยังรูนมเดี่ยวที่เปิดที่ผิวหนัง

Complex gland: เป็นลักษณะของเต้านมที่น้ำนมถูกส่งออกไปยังรูหัวนม โดยที่หัวนมอาจมีรูจำนวน 1 รู หรือมากกว่า ซึ่งรับน้ำนมมาจากต่อมที่แยกจากกันโดยชัดเจน

ชนิดสัตว์	Complex Glands	ทรวงอก	หน้าท้อง	ขาหนีบ	จำนวนรูหัวนม	Total Simple gland
โค	4	-	-	4	1	4
แพะ แกะ	2	-	-	2	1	2
ม้า	2	-	-	2	2	4
สุกร	12-14	6	6	4	2	24-28
แมว	8	4	2	2	4-8	32-64
สุนัข	10	4	4	2	8-22	80-220
หนูแรท	12	6	2	4	1	12
หนูเมาส์	10	6	-	4	1	10
หนูตะเภา	2	-	-	2	1	2
มนุษย์	2	2	-	-	10-20	20-40

จุลกายวิภาควิทยาของเต้านมและชีววิทยาของเซลล์
(Mammary Gland Histology and Mammary Cell Biology)

ทบทวนจุลกายวิภาคของเต้านม

เนื้อเยื่อที่สร้างน้ำนมในเต้านมจะอยู่รวมกันเป็นกลุ่ม (Lobes) ซึ่งแต่ละกลุ่มจะประกอบด้วยกลุ่มย่อยๆอีกทีหนึ่ง (Lobules) แต่ละกลุ่มย่อยๆนี้จะประกอบด้วยกระเปาะนมขนาดเล็กประมาณ 150 – 120 กระเปาะ กระเปาะนม (Alveolus) นั้นเป็นรูปเอกพจน์แต่หากในรูปพหูพจน์ กระเปาะนมจะใช้ Alveoli แทน

กระเปาะนม เป็นโครงสร้างที่คล้ายถุงเป็นที่ๆมีการสังเคราะห์น้ำนมและหลั่งน้ำนม พื้นผิวของกระเปาะนมจะบุด้วยเยื่อบางซึ่งเรียกว่า secretory epithelial cells เนื้อเยื่อที่ประกอบกันขึ้นเป็นกระเปาะนมนี้จะถูกล้อมรอบด้วยเซลล์กล้ามเนื้อเรียบที่หดตัวได้ (myoepithelial cells) อีกทีหนึ่ง เมื่อเซลล์กล้ามเนื้อเรียบหดตัวโดยเมื่อตอบสนองต่อฮอร์โมนออกซีโตซิน ก็จะบีบให้กระเปาะหลั่งน้ำนมออกมา ถัดจากชั้นกล้ามเนื้อเรียบนี้ออกไปก็จะมีชั้นนอกเนื้อเยื่อประสานหุ้มกระเปาะน้ำนมไว้อีกชั้นหนึ่ง กลุ่มของกระเปาะนมสามารถมองเห็นคล้ายกับพวงองุ่น ซึ่งส่วนที่

เป็นก้านเปรียบได้กับท่อซึ่งมาจากกระเปาะนมและไปรวมกับท่อใหญ่ที่ออกไปจาก lobule อีกทอดหนึ่ง พื้นที่ว่างระหว่างลูกอุ่น (หรือกระเปาะนม) จะเป็นส่วนของเนื้อเยื่อประสาน (stroma area)

หมายเหตุไว้ว่าเซลล์กล้ามเนื้อเรียบไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าโดยการย้อมสีเนื้อเยื่อธรรมดา จากการทำตัวอย่างเนื้อเยื่อ ต้องใช้วิธีพิเศษในการที่จะศึกษาเซลล์กล้ามเนื้อเรียบ โดยทั่วไปในการศึกษาเซลล์กล้ามเนื้อเรียบของเต้านมจะต้องใช้อิเลคตรอนไมโครสโคป (ดู Caruolo, 1980 ในอ้างอิง)

Lobules กลุ่มของกระเปาะนม จำนวน 150 – 220 ที่ถูกห่อหุ้มด้วยเนื้อเยื่อประสานรวมกันเป็น lobule ขึ้นมา (ขนาดเส้นผ่นศูนย์กลางประมาณ 7-8 mm)

Alveolus กระเปาะนม ชิ้นของเนื้อเยื่อที่บุผิวของกระเปาะนมเป็นโครงสร้างสำคัญที่จะผลิตน้ำนม เซลล์เหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นเซลล์ที่มีขั้วโดยธรรมชาติ โดยมีโครงสร้างส่วน basal membrane (ด้านที่ติดกับหลอดเลือด) ของเยื่อบุผิวที่มีความแตกต่างจากด้าน apical membrane (ด้านที่เปิดออกสู่ช่องว่างของกระเปาะนม) อย่างชัดเจน ส่วนประกอบของเซลล์มีคุณสมบัติที่มีขั้วด้วยเช่นกัน โดยนิวเคลียสจะมีตำแหน่งค่อนไปทางด้าน basal membrane ในขณะที่ กอจไก แอปพาราตัส จะอยู่ทางด้าน apical membrane และส่วนขององค์ประกอบอื่นๆของเซลล์ (secretory vesicle, fat droplets) จะอยู่ทางด้าน apical membrane ของเซลล์ basal membrane จะเชื่อมติดกับ basement membrane ซึ่งเป็นเนื้อเยื่อชั้นบางๆประกอบขึ้นด้วยโปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างที่คอยค้ำจุ้นเซลล์ผลิตน้ำนม เซลล์ที่ทำหน้าที่สร้างน้ำนมแต่ละเซลล์จะเชื่อมกันด้วย tight junction (ด้านข้างของแต่ละเซลล์) ซึ่งโดยทั่วไปจะไม่ยอมให้โมเลกุลผ่านได้ง่ายๆ เช่นเดียวกับเซลล์สร้างน้ำนมของเซลล์เอง ก็จะเป็นตัวกั้นไม่ให้สารผ่านจากเส้นเลือดมายัง lumen ของกระเพาะได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากการกั้นการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของสารโดยผนังเซลล์ทั่วไป คุณสมบัติของการมีขั้ว จะเป็นคำตอบว่าเหตุใดเซลล์เหล่านี้จึงผลิตน้ำนมได้

สารตั้งต้นและสารทุกอย่างจะต้องผ่านเข้าสู่เซลล์สธีทน้ำนม ก่อนที่มันจะถูกเปลี่ยนไปเป็นน้ำตาลแลคโตส ไขมัน และโปรตีนน้ำนม สารตั้งต้นเหล่านี้จะออกจากกระแสเลือดและเข้าสู่ของเหลวภายนอกเซลล์ระหว่างเส้นเลือดฝอยและเซลล์สร้างน้ำนม จากนั้นสารตั้งต้นจะถูกนำจากของเหลวนอกเซลล์ผ่านไปเข้าไปยัง basolateral membrane ของเซลล์ เมื่อเข้ามาอยู่ในเซลล์แล้ว สารตั้งต้นเหล่านี้ก็จะไปตามวิถีที่เฉพาะเพื่อทำการสังเคราะห์

ในบางครั้ง pre-fermed protein อย่างเช่นอิมมูโนโกลบูลินจะถูกขนส่งโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นภายในเซลล์ โดยจะอยู่ในรูปเดิมแม้จะออกจากเซลล์ไปแล้ว มีวิถีทั้งหมด 5 วิถีด้วยกันที่สารตั้งต้นจะผ่านจากเซลล์ออกสู่ lumen ของกระเปาะนม ได้แก่ วิถีสำหรับการนำกรดอะมิโน การนำน้ำตาลและเกลือ การนำไขมัน การนำอิมมูโนโกลบูลิน และ paracellular pathway

การสังเคราะห์และหลั่งน้ำนม

การนำสารตั้งต้นเข้าสู่เซลล์เต้านม

ภาพนี้แสดงวิธีของการนำสารตั้งต้นเข้าสู่เซลล์ทั้ง 5 วิถี วิถีที่ 1 การนำเอากรดอะมิโนเข้าสู่เซลล์เพื่อสังเคราะห์โปรตีน วิถีที่ 2 การนำเอากลูโคสเข้าสู่เซลล์เพื่อผลิตเป็นแลคโตส วิถีที่ 3 การนำเอากรดไขมันและกลีเซอรอลเข้าสู่เซลล์เพื่อผลิตไขมัน วิถีที่ 4 การนำอิมมูโนโกลบลูลินเข้าสู่เซลล์และผ่านออกไปยัง lumen วิถีที่ 5 paracellular pathway

-ภาพ-

การสังเคราะห์โปรตีนจากกรดอะมิโน

กรดอะมิโนจะถูกดูดซึมเข้าสู่ basal membrane ได้หลายทาง เมื่ออยู่ในเซลล์ กรดอะมิโนจะจับแบบมีพันธะกับกรดอะมิโนตัวอื่นได้เป็นโปรตีนที่ polysome ซึ่งอยู่บน rough ER โปรตีนที่สังเคราะห์ที่ RER ได้แก่โปรตีนที่ถูกหลั่ง (เช่น เคซีน, เบต้า-แลคโตโกลบลูลิน และแอลฟ่า-แลคทอลบูมิน) และโปรตีนที่จับผนังเซลล์ (membrane bound protein) เช่น โปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการสื่อสารระหว่างเซลล์และเอนไซม์ที่เชื่อมผนังเซลล์ โปรตีนที่ถูกสังเคราะห์ขึ้นใหม่ จะถูกเคลื่อนย้ายขนส่งจาก RER ไปยังกอลไจที่ซึ่งจะถูกขนย้ายออกไปจากเซลล์

เคซีนนั้นจะถูกปลดปล่อยไปในรูปของไมเซลล์ โดยไมเซลล์นี้จะสร้างขึ้นในกอลไจจากโมเลกุลของโปรตีน แคลเซียมและฟอสฟอรัส เคซีนและโปรตีนชนิดอื่นๆ จะถูก posttranslational ขึ้นในกอลไจ โปรตีนที่ยังอยู่ในเซลล์จะถูกสังเคราะห์โดยไรโบโซมในไซโตพลาสซึม ซึ่งได้แก่ เอนไซม์ของเซลล์ โปรตีนซึ่งเป็นโครงสร้างของเซลล์ เช่น เคอราติน และโปรตีนอื่นๆของเซลล์

โปรตีนและแลคโตสจะถูกขนส่งเข้าสู่ apical membrane ของเซลล์ทาง secretory resicles ซึ่งจะหลุดออกจากกอลไจ ซึ่ง secretory reside เหล่านี้จะถูกห่อหุ้มด้วย lipid bilayer membrane และ secretory reside เหล่านี้จะมีทางไปยัง apical membrane โดยการใช้กลไกที่เกี่ยวข้องกับ microtubules (โดยเฉพาะ tubulin) Tubulin เป็นหนึ่งในโปรตีนโครงสร้าง ซึ่งจะ form เป็น cellular scaffolding ทำให้เซลล์มีรูปร่าคงตัวอยู่ได้

เคอราตินเป็นตัวอย่างชนิดหนึ่งของโปรตีนชนิดนี้ secretory vesicle จะไม่ถูกเคลื่อนย้ายไปที่ basolateral membrane ที่ apical membrane ผนังของ secretory resicle จะเชื่อมกับผนังด้านในของ apical membrane ทำให้เกิดช่องเปิดที่ส่วนประกอบภายใน reside สามารถปลดปล่อยออกไปได้ใน alneolar lumen ส่วนประกอบเหล่านี้ที่จำเป็นได้แก่ หางนม น้ำ น้ำตาลแล็คโตส เคซีน ไมเซลล์ และเวย์โปรตีน

การเปลี่ยนกลูโคสเป็นแลคโตส

กลูโคสจะเข้าสู่เซลล์ทาง basolateral membrane โดยกระบวนการขนส่งพิเศษ กลูโคสบางส่วนจะถูกเปลี่ยนเป็นกาแลคโตสภายในเซลล์ ทั้งกลูโคสและกาแลคโตสจะเข้ากอลไจและเข้าสู่ปฏิกิริยาที่จะทำให้เกิดการสร้างแลคโตสขึ้นมา (พูดถึงในบทการสังเคราะห์กลูโคส) การสร้างแลคโตสในกอลไจจะทำให้เกิดการดึงน้ำเข้าสู่เซลล์ เข้าสู่กอลไจ และกลายเป็นส่วนหนึ่งของน้ำนม สังเกตได้ว่ากอลไจจะเกี่ยวข้องกับการสังเคราะห์โปรตีนน้ำนม การสังเคราะห์แลคโตส และการดึงน้ำ นอกจากนี้กอลไจยังสำคัญในการสังเคราะห์องค์ประกอบของหางนม แลคโตส (และน้ำในน้ำนม) จึงถูกหลั่งมากับ secretory vesicle ร่วมกับโปรตีนนม

สารตั้งต้นมาเป็นไขมันนม

สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ไขมันนมจะถูกนำเข้าสู่เซลล์สร้างน้ำนม (epitholial cell) ที่ตำแหน่ง basolateral membrane อะซิเตรท และ β-ไฮดรอกซี่บิวทิเรท จัดเป็นสารตั้งต้นที่สำคัญของกรดไขมันที่สร้างโดยเซลล์เต้านมในสัตว์บางสปีชีส์ (โดยเฉพาะสัตว์เคี้ยวเอื้อง) สารตั้งต้นเหล่านี้จะถูกดูดซึมผ่าน basolateral membrane ยิ่งไปกว่านั้น preformed fatty acids, กลีเซอรอล และ monoacylglyceride จะถูกดูดซึมที่ตำแหน่ง basolateral membrane ทั้งหมดนี้จะเข้าสู่กระบวนการสังเคราะห์ triglyceride ในน้ำนม (ดูการสังเคราะห์ไขมัน) triglyceride ของน้ำนมจะถูกสังเคราะห์ที่ smooth endoplasmic reticulum และอยู่ในของ small droplets ซึ่ง small droplets จำนวนมากๆ จะเชื่อมเข้าด้วยกันให้มีขนาดใหญ่ขึ้นและเคลื่อนที่ไปยัง apical membrane ที่ตำแหน่ง apical membrane นี้ หยดไขมันที่มีขนาดใหญ่ก็จะเคลื่อนที่ออกจากเซลล์ไป (หากจินตนาการจะคล้ายกับการที่เราอยู่ในลูกโป่ง เมื่อเรากำกำปั้นและพยายามจะยื่นมือทะลุออกมานอกลูกโป่ง ผนังของลูกโป่งก็จะล้อมรอบกำปั้นของเรา) เมื่อไขมันหลุดออกมาอยู่ใน lumen ของกระเปาะนม ก็จะเรียกว่า milk fat globule ซึ่งเป็นไขมันนมที่มีผนังเซลล์ของ epithelial cell หุ้มล้อมรอบอยู่ (ผนังลูกโป่งหุ้มรอบกำปั้น) อย่าลืมว่าภายในเซลล์ (epithelial cell) นั้นยังคงเรียกว่า fat droplet

การเคลื่อนที่ขององค์ประกอบอื่น ๆในน้ำนมที่ไม่ได้ถูกสังเคราะห์ใน epithelial cell

มีองค์ประกอบหลายชนิดในน้ำนมที่มาจากเลือดโดยไม่เปลี่ยนรูปลักษณ์ สารเหล่านี้ได้แก่ immunoglobulins ซึ่งจะจับกับตัวรับสัญญาณบน basolateral surface ของเซลล์ และถูกนำเข้าสู่เซลล์ในรูปของ endocytic vesicles และถูกขนส่งไปยังด้าน apical โดย endocytic vesicle นี้ (หรือเรียก transport vesicles) และที่ผนังของเซลล์จะเกิดการรวมตัวของผนัง endocytic vesicle กับผนังด้านในของ apical membrane ของเซลล์เยื่อปลดปล่อย immunoglobulin เข้าสู่ lumen ของกระเปาะนม ในขณะที่เดินทางอยู่ในเซลล์นั้น vesicle จะไม่ได้ผ่านไปยัง Golgi apparatus ไม่เกี่ยวข้องกับ secretory vesicle และ lipid droplets อัลบูมินในซีรั่มก็ถูกขนส่งโดย

วิธีเดียวกันนี้ แต่แตกต่างกันตรงที่ไม่ได้มีตัวรับสัณญาณของซีรั่มอัลบูมิน อาจจะเป็นไปได้ว่าโมเลกุลของซีรั่มอัลบูมิน จะถูกนำเข้าสู่ภายในเซลล์พร้อมๆกับ immunoglobulin ผ่านทาง transport vesicle เดียวกันก็เป็นได้

Paracelular Pathway

เนื่องจาก tight junction ระหว่าง epithelial cell จึงทำให้ไม่มีการเคลื่อนที่สารระหว่างรอยเชื่อมต่อระหว่าง epithelial cell ด้วยกันเอง ยกเว้นน้ำและไอออนบางชนิด ทุกครั้งที่มีการเคลื่อนที่ของสารใดก็ตามผ่าน tight junction เราจะเรียกว่า paracellular pathway เมื่อเต้านมเกิดการอักเสบ เช่นที่เกิดในช่วงการเป็นเต้านมอักเสบ หรือการเข้าอู่ของเต้านม (involution) หรือเมื่อ oxytocin ทำให้เกิดการหลั่งน้ำนม tight junction จะเปิด ทำให้เกิดการ "leaky" ซึ่งจะทำให้แลคโตสหรือโปแตสเซียมเคลื่อนที่ตาม concentration gradient จาก lumen เข้าไปยังช่องว่างภายในเซลล์ (extracellular space) สำหรับ sodium และคลอไรด์นั้นจะเคลื่อนที่ down their concentration gradient จาก extracellular space ไปยัง lumen เป็นผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความนำไฟฟ้าของน้ำนม (ซึ่งสามารถใช้ในการตรวจสอบเต้านมอักเสบ) เช่นเดียวกับการเพิ่มความเข้มข้นขึ้นของน้ำตาลแลคโตสและสารอื่นๆในกระแสเลือด แลคโตสสามารถพบได้ในน้ำปัสสาวะของโครระหว่างช่วงหลังคลอด โปรตีนน้ำนมสามารถตรวจพบได้ในกระแสเลือดของโคในช่วงให้นมและช่วงเข้าอู่ระยะแรกของเต้านม

องค์ประกอบอื่นๆที่สามารถเคลื่อนที่เข้าสู่ lumen โดยไม่ผ่าน epithelial cell ได้แก่ ลิวโคไซต์ (จะพูดอีกครั้งในบทโรคเต้านมอักเสบ) ลิวโคไซต์จัดว่าเป็นเซลล์ชนิด somatic cell ของน้ำนม เซลล์เหล่านี้จะผ่านระหว่าง epithelial cells และในกระบวนการที่เรียกว่า "break open" ของ tight junction ระหว่าง ephithelial cell และเข้าสู่ paracellular pathway เช่นเดียวกับสารอื่นๆที่สามารถแพร่ผ่านจาก lumen เข้าไปยัง extreacellular fluid ซึ่งเป็นเหตุผลว่าเหตุใดจึงมีการเปลี่ยนความนำไฟฟ้าของเต้านมได้ระหว่างที่เกิดเต้านมอักสบเมื่อมีการผ่านเข้าสู่น้ำนมของลิวโคไซต์อย่างรวดเร็วได้

กิจกรรมการสังเคราะห์ในเซลล์ของเต้านม

เซลล์ทุกเซลล์ทำหน้าที่ในการสังเคราะห์ไปพร้อมๆกัน ในเซลล์บางเซลล์เต็มไปด้วยหยดไขมันและ secretory vesicles ในขณะที่เซลล์อื่นๆไม่พบว่ามีทั้งหยดไขมันและ secretory vesicles การทำงานร่วมกันของเซลล์แบบนี้พบได้ใน seminiferous tubules ในอัณฑะ

secretory activity เกิดขึ้นได้ 2 phases

- ชั้นการสร้างของหยดไขมันและ secretory vesicles การเกิดการตึงตัวของเซลล์ เซลล์จะมีรูปร่างสูงและเป็นทรงกระบอก
- ชั้นของการปล่อยผลผลิตเข้าสู่โพรงของกระเปาะนม เซลล์จะมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้ามากขึ้น โพรงนมจะเต็มไปด้วยน้ำนม การสังเคราะห์จะลดลงในช่วงนี้

ถ้าเรา incubate เนื้อเยื่อเต้านมแล้ว lable กรดอะมิโนด้วยรังสีจะเห็นได้ว่ากรดอะมิโนจะเคลื่อนผ่านเซลล์ในลักษณะเป็นคลื่น

- พบว่าอยู่ในไซโตพลาสซึม 3-15 นาที (โปรตีนที่สังเคราะห์ขึ้นใหม่)
- อยู่ในคอลไจภายใน 15-30 นาที (โปรตีนสังเคราะห์ขึ้นใหม่ที่ส่งเข้าใน process)
- radioactive tracer พบมากขึ้นในกระเปาะนม (โพรง) 30-60 นาที (มีการหลั่งโปรตีน) หากฉีดสารตั้งต้นของน้ำนมให้กับสัตว์ จะพบการเหล่านั้นในน้ำนมที่เวลาแตกต่างกัน
- กลุ่มที่เข้าสู่สมดุลผ่านจากด้าน apical ของเซลล์ หรือผนังของคอลไจ (Na^+ ,K^+ ,Cl^-) ใช้เวลา 1 ชั่วโมงที่จะสมดุล
- กลุ่มที่เข้าสู่การสังเคราะห์ในคอลไจ (แลคโตส, เคซีน, Ca, citrate, phosphate) ใช้เวลา 2-3 ชั่วโมง จึงจะถึงจุดอิ่มตัว
- กลุ่มที่เข้าสู่การสังเคราะห์ไขมัน ใช้เวลา 5-7 ชั่วโมง จึงจะถึงจุดอิ่มตัว