

บรรณานุกรม



- จันจิรา สนิท. “ค่าความถี่ของอัลลีลของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์บนโครโมโซมเพศหญิง ตำแหน่ง DXS7132 ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ”. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.
- ดาวรุ่ง กังวานพงศ์. พันธุศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 1. ห้างหุ้นส่วนจำกัด เชียงใหม่บิสิเนสเซ็นเตอร์ แอนด์ สตูดิโอ, 2546.
- ธานินทร์ ภูพัฒน์. วิทยาการดีเอ็นเอในงานนิติเวช. พิมพ์ครั้งที่ 1. เชียงใหม่ : ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2538.
- นำชัย ชีววิวรรณ, สุดสงวน ชูสกุลธนะชัย, ชัยรัตน์ อุทัยพิบูลย์ และ นเรศ คำรงค์ชัย. “การประยุกต์ใช้ความรู้หลังการค้นพบดีเอ็นเอ”. ในดีเอ็นเอ: ปริศนาลับรหัสชีวิต (หน้า 39-58), ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ, 2546.
- ปรีชญากรณ์ เทพประทุม. “การตรวจสอบไมโครแซทเทลไลท์ดีเอ็นเอบนโครโมโซมเพศหญิง ตำแหน่ง DXS7130 ในกลุ่มประชากรคนไทยภาคเหนือ”. การค้นคว้าแบบอิสระ วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชานิติวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2553.
- มานัส แสงงาม. สถิติเบื้องต้น (INTRODUCTION TO STATISTIC). หน้า 263-267, 376-380. เชียงราย: แผนกวิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตเชียงราย, 2549.
- วิชัย บุญแสง, อัญชลี ทศนาจร, ชัยณรงค์ วงศ์ธีรทรัพย์, นุสรา สิทธิคิดกรัตน์, และสกล พันธุ์อิม. ลายพิมพ์ดีเอ็นเอ...จากสารพันธุกรรมสู่เทคโนโลยีพิสูจน์บุคคล. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2541.

วิฑูรย์ ทะสุยะ และ ธานินทร์ ภูพัฒน์. SOP DNA Analysis for Forensic Medicine. เชียงใหม่: ภาควิชานิติเวชศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2005.

ศุภชัย นาทะพันธ์. ความน่าจะเป็นและสถิติ (Probability and Statistic). พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: ยูเคชั่น ซีเ็ด, 2547.

อมรา คัมภีรานนท์. “ความเหมือนที่แตกต่าง”. ใน อมรา คัมภีรานนท์ (บก.), พันธุศาสตร์มนุษย์ (หน้า 1), พิมพ์ครั้งที่ 2. เท็กซัส แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, 2546.

อมรา คัมภีรานนท์. “เทคนิคทางพันธุศาสตร์โมเลกุลและการประยุกต์ใช้ด้านเวชพันธุศาสตร์”. ใน อมรา คัมภีรานนท์ (บก.), พันธุศาสตร์มนุษย์ (หน้า 202), พิมพ์ครั้งที่ 2. เท็กซัส แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด, 2546.

อุไรวรรณ วิจารณ์กุล. ดีเอ็นเอเทคโนโลยี DNA Technology. ใน อุไรวรรณ วิจารณ์กุล (บก.), เจลอิเล็กโตรโฟรีซิสของดีเอ็นเอ (หน้า 237-253), คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏพิบูลสงคราม, 2545.

Budowle B., Chakraborty R., Giusti A.M., Eisenberg A.J., Allen R.C. Analysis of the VNTR Locus D1S80 by PCR followed by High-Resolution PAGE. *Am J Hum Genet.* 1991; 48: 137-44.

Barbaro A., Cormici P., Barbaro A. X-STR Typing for an Identification Casework. *Int Congress Series.* 2006; 1288: 513-5.

Bhoopat T., Steger H.F. Frequency Distribution of D1S80 Alleles in the Northern Thai Population Analyzed by Amplified Fragment Length Polymorphism Technique. *Forensic Sci Int.* 1996; 81: 149-55.

Bhoopat T., Leangsiyakul T., Steger F. Forensic Value of Nine STR Loci in Northern Thai. *Legal Med.* 2006; 8: 198-200.

- Chantratita W., Rerkamnuaychoke B., Jomsawat U., Thanakitgosate J., Ruangvithayanon T., Rojanasunan P. Thai Population Data on Nine Tetrameric STR Loci - D3S1358, vWA, FGA, TH01, TPOX, CSF1PO, D5S818, D13S317 and D7S820. *Forensic Sci Int.* 115. 2001; 113-5.
- Chen M.Y., Pu C.E. Population Data on the X Chromosome Short Tandem Repeat Loci DXS10011, DXS101, DXS6789, DXS7132, DXS8377, and DXS9895 in Taiwan. *Forensic Sci Int.* 2004; 146: 65-7.
- Coletti A., Lottanti L., Lancia M., Margiotta G., Carnevali E., Bacci M. Allel Distribution of 6 X- Chromosome STR Loci in an Italian Population Sample. *Int Congress Series.* 2006; 1288: 292-4.
- Cybulsla L., Wysocka J., Rebala K., Kapinska E., Mikulich A.I., Tsybovsky I.S., Sivakova D., Dzipinkova Z., Szczerkowska Z. Polymorphism of Four X- Chromosome STR Loci in Belarusians and Slovaks. *Forensic SciInt: Genetics Supplement Series.* 2008; 1: 145-6.
- Edemann J., Szibor R. DXS 101: A Highly Polymorphic X-Linked STR. *Int J Legal Med.* 2001; 114: 301-4.
- Edelmann J., Hering S., Kuhlisch E., Szibor R. Validation of the STR DXS7424 and the Linkage Situation on the X- Chromosome. *Forensic Sci Int.* 2002; 125: 217-22.
- Edelmann J., Lessig R., Hering S., Brundirs N., Kuhlisch E., Szibor R. Allele Frequences for X-Chromosomal Microsatellite in Different Populations. *Int Congress Series.* 2004; 1261: 263-5.
- Gao S., Qiao K., Rakha A., Lai J., Li S. Allele Frequencies for 10X-STR Loci in Nu Population of Yunnan, China. *Legal Med.* 2007; 9: 284-6.
- Gomes I., Carracedo A., Amorim A., Gusmao L. A Multiplex PCR Design of Simultaneous Genotyping of X Chromosome Short Tandem Repeat Markers. *Int Congress Series.* 2006; 1288: 313-5.

- Gomes I., Ales C., Maxzud K., Pereira R., Prata M.J. Analysis of 10 X-STRs in Three African Populations. *Forensic Sci Int: Genetic*. 2007; 1: 208-11.
- Gu S., Li S. X-Chromosome STRs Analysis of Ewenke Ethnic Population. *Forensic Sci Int*. 2006; 158: 72-5.
- Linkage Disequilibrium and Recombination: Lecture 15 Bio 107/207. (2005). Available: [bio.class.ucsc.edu/bio107/class%20pdfs/w05-lecture 15.pdf](http://bio.class.ucsc.edu/bio107/class%20pdfs/w05-lecture%2015.pdf). [2011, Jan 24].
- Liu Q., Li S. Patterns of Genetic Polymorphism at the 10 X-Chromosome STR Loci in Mongol Population. *Forensic Sci Int*. 2006; 158: 76-9.
- Martins J.A., Silva R.H.A., Freschi A., Paneto G.G., Oliveira R.N., Cicarelli R.M.B. Population Genetic Data of five X-Chromosomal Loci in Bauru (Sao Paulo, Brazil). *Forensic Sci Int : Genetics Supplement Series*. 2008; 1: 155-6.
- Nagai A., Hara M., Kido A., Takada A., Saito K., Bunai Y. Sequence Polymorphisms at the DXS6789, DXS8377 and DXS101 Loci in the Asian Populations. *Forensic Sci Int : Genetics Supplement Series*. 2009; 2: 49-50.
- Rerkamnuaychoke B., Rinthachai T., Shotivaranon J., Jomaswat U., Siriboonpiputtana T., Chaiatchanarat K., Pasomsub E., Chantratita W. Thai Population Data on 15 Tetrameric STR Loci - D8S1179, D21S11, D7S820, CFS1PO, D3S1358, THO1, D13S317, D16S539, D2S1338, D19S433, vWA, TPOX, D18S51, D5S818 and FGA. *Forensic Sci Int*. 2006; 158:234-7.
- Shin S.H., Yu J.S., Park S.W., Min G.S., Chung K.W. Genetic Analysis of 18 X-Linked Short Tandem Repeat Markers in Korean Population. *Forensic Sci Int*. 2005; 147: 35-41.
- Szibor, R., Krawczak, M., Hering, S., Edelman, J., Kuhlisch, E. and Krause, D. Use of X-Linked Markers for Forensic Purpose. *Int J Legal Med*. 2003; 117: 67-74.



- Toni C., Presciuttini S., Spinetti I., Rocchi A., Domenici R. Usefulness of X-Chromosome Markers in Resolving Relationships: Report of a Court Case Involving Presumed Half Sisters. *Int Congress Series*. 2006; 1288: 301-3.
- Turrina S., Atzei R., Filippini G., Leo D.D. Development and Forensic Validation of a New Multiplex PCR Assay with 12 X Chromosom Short Tandem Repeats. *Forensic SciInt: Genetics*. 2007; 1: 201-4.
- Wiegand P., Berger B., Edelmann J., Parson W. Population Genetic Comparisons of Three X-Chromosomal STRs. *Int J Legal Med*. 2003; 117: 62-5.
- Wu W., Hao H., Liu Q., Su Y., Zheng X., Lu D. Allele Frequencies of Seven X-Linked STR Loci in Chinese Han Population from Zhejiang Province. *Forensic Sci Int: Genetics*. 2009; 4: e41-2.
- Yu B., Zhang H., Li S. X- Chromosome STRs Polymorphisms of Han Ethnic Group from Northwest China. *Forensic Sci Int*. 2005; 153: 269-71.
- Zarrbeitia M.T., Amogo T., Sanudo C., Zarrbeitia A., Gonzalez-Lamuno D., Riancho J.A. A New Pentaplex System to Study Short Tandem Repeat Marker of Forensic Interest on X Chromosome. *Forensic Sci Int*. 2002; 129: 85-9.
- Zarrabeitia M.T., Alonso A., Zarrabeitia A., Castro A., Fernandez I., Martinez de Pancorbo M. X-Linked Microsatellites in Two Northern Spain Populations. *Forensic Sci Int*. 2004; 145: 57-9.
- Zarrabeitia M.T., Alonso A., Martin J., Gonzalez-Gay M.A., Martin-Escudero J.C., Martinez de Pancorbo M., Sanz P., Ruiz-Cabello F., Raincho J.A. Study of Six X-Linked Tetranucleotide Microsatellite: Population Data from Five Spanish Regions. *Int J Legal Med*. 2006; 120: 147-50.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ขั้นตอนการเตรียมสารละลายในกระบวนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ การแยกแอมป์ดีเอ็นเอ การย้อมดีเอ็นเอ และขั้นตอนการตกตะกอนดีเอ็นเอ

การเตรียมสารละลายในกระบวนการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอ

1. การเตรียม 10X Taq buffer

- 500 mM Tris pH 8.4	20.0	ml
- 2 M KCl	12.5	ml
- 150 mM MgCl ₂	5.0	ml
- 1 % Bovine Serum Albumin	5.0	ml
- 100% Tween 20	0.25	ml
- เติมน้ำให้ครบ	50.0	ml

2. การเตรียม 1 mM solution of dNTPs

- 100 mM dATP	10	μl
- 100 mM dCTP	10	μl
- 100 mM dGTP	10	μl
- 100 mM dTTP	10	μl
- H ₂ O	960	μl

ผสมให้เข้ากันจะได้สารละลายที่มีปริมาตรรวมเท่ากับ 1000 μl

3. วิธีเตรียม Loading dye (0.04 g/ml)

-Bromphenol blue sodium salt	0.04	g
-Glycerol	500	μl
น้ำกลั่น	500	μl

ขั้นตอนการแยกแอมป์เอ็นเอด้วยวิธีอิเล็กโทรโฟรีซิส (Electrophoresis)

1. วิธีเตรียม 34% Acrylamide solution

- Acrylamide	16.18	g
- N, N'Methylenebisacrylamide	0.82	g
- เติมน้ำกลั่นลงในสารให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ	50	ml

2. วิธีเตรียม 10X Gel buffer

- ชั่ง Tris	8.0	g
- เติมน้ำกลั่นลงในสารให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ	200	ml

ปรับ pH ด้วย Sulfuric acid ให้ได้ pH = 4.5

3. วิธีเตรียม 8.5% Acrylamide gel (ปริมาตร 37 มิลลิลิตร)

- น้ำกลั่น	21.26	ml
- 10X Gel buffer	3.7	ml
- Acrylamide solution	9.3	ml
- 87% Glycerol	2.55	ml
- 10% Ammoniumpersulfate	191.0	μ l
- Tetramethylethylenediamine (TEMED)	14.0	μ l

- ผสมสารทั้งหมดให้เข้ากันโดยใช้ Stirrer plate นาน 1 นาที ไม่ควรใช้ความแรงในการหมุนมากเกินไป สังเกตโดยไม่ให้เกิดฟองอากาศในส่วนผสม

- เทลงในชุดกระจกสำหรับเตรียมเจล ที่ใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมงจึงสามารถใช้ในการแยกแอมป์เอ็นเอได้

4. วิธีเตรียม 2.5X Running TBE buffer (Stock solution)

- 89 mM Tris	5.4	g
- 2 mM EDTA	3.72	g
- 89 mM Boric acid	27.5	g
- เติมน้ำกลั่นลงในสารให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ	2000	ml

Working Solution (เตรียม 1000 ml)

- Running buffer (Stock solution)	400	ml
- น้ำกลั่น	600	ml

5. วิธีแยกแถบดีเอ็นเอ

- ใช้กระแสไฟฟ้า 110 volt นาน 16.30 ชั่วโมง
- ทำการย้อมเจลด้วย Silver staining เพื่อให้เห็นแถบดีเอ็นเอ

ขั้นตอนการทำ Agarose Gel Electrophoresis

1. เตรียม 2% Agarose gel โดยมีวิธีเตรียมดังนี้
 - ชั่ง Agarose powder 1.0 g
 - ละลายใน 0.5X TBE (Tris-borate, EDTA) buffer ให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 50 ml
 - ต้มที่ 60°C จนสารละลายใสเป็นเนื้อเดียวกัน
 - เทใส่แม่พิมพ์ทิ้งไว้ให้แห้ง
2. เตรียมเครื่อง Agarose gel electrophoresis โดยปรับเครื่อง ดังนี้ 50 mA, 135 V นาน 20 นาที
3. ใส่ 2% Agarose gel ที่เตรียมเอาไว้ลงในเครื่อง แล้วเติม 0.5X TBE buffer ให้ท่วมเจลพอดี
4. เตรียม PCR product ที่จะ Load โดยใส่สารละลาย Loading dye ปริมาณ 1 μ l ลงใน PCR product ปริมาณ 5 μ l
5. Load PCR product ที่เตรียมไว้ลงไปบนเจล แล้วเปิดเครื่อง Agarose gel electrophoresis
6. เมื่อครบเวลานำแผ่นเจลมาแช่ในสารละลาย Ethidium bromide ที่เตรียมไว้ นาน 15 นาที

วิธีเตรียมสารละลาย Ethidium bromide (0.5 μ g/ml)

สารละลาย Ethidium bromide (10 mg/ml)	10	μ l
0.5X TBE (Tris-borate, EDTA)	200	ml

- เขย่าให้เข้ากัน แล้วเก็บไว้ในที่มืด (ระวังอย่าให้ถูกผิวหนังโดยตรง เนื่องจาก

Ethidium bromide เป็นสารก่อมะเร็ง ถ้ามีความเข้มข้นสูงจะทำให้เกิดการระคายเคืองตา ผิวหนัง เยื่อต่างๆ และทางเดินหายใจ)



วิธีการเตรียม 0.5X TBE (Tris-borate, EDTA) buffer

Tris-borate	5.4	g
Boric acid	2.75	g
EDTA	0.373	g
เติมน้ำกลั่นให้ครบ	1000	ml

- เมื่อครบเวลานำแผ่นเจลมาส่องดูความเข้มของแถบดีเอ็นเอด้วยเครื่อง Ultraviolet-transilluminator

ขั้นตอนการย้อมเจลด้วย Silver staining (Budowle *et al.* 1991)

- เติม 1% Nitric acid (3 ml 65% Nitric acid + น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 200 ml) เขย่านาน 10 นาที แล้วเททิ้ง
- ล้างเจลด้วยน้ำกลั่นนาน 5-10 วินาที แล้วเททิ้ง 2 ครั้ง
- เติม 0.012M Silver nitrate solution (0.4 g Silver nitrate + น้ำกลั่นให้ได้ปริมาตรสุดท้ายเท่ากับ 200 ml) เขย่านาน 35 นาที แล้วเททิ้ง
- ล้างเจลด้วยน้ำกลั่นนาน 5-10 วินาที แล้วเททิ้ง 2 ครั้ง
- เติม 0.28 M Sodium carbonate และ 0.019% Formalin (11.8 g Sodium carbonate + น้ำกลั่น 390 ml แล้วเติม 37% Formalin 205 μ l) ลงไปประมาณ 50 ml เมื่อสีของสารละลายเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลให้เททิ้งและเติมส่วนที่เหลือลงไป เขย่าจนเห็นแถบดีเอ็นเอบนเจลชัดเจน แล้วเททิ้ง
- หยุดปฏิกิริยาด้วย 10% Glacial acetic acid (20 ml 100% Glacial acetic acid + น้ำกลั่น 180 ml) เขย่านาน 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำกลั่นประมาณ 200 ml นาน 1 นาที 3 ครั้ง หรือจนหมดกลิ่นของ Glacial acetic acid
- นำไปทำให้แห้งด้วยเครื่องอบแห้งเจล (Gel dryer)

การตกตะกอน PCR product ด้วย Isopropanol

1. เติม 4M Ammonium acetate 20 μ l และ 100% Isopropanol 40 μ l ลงใน PCR product 20 μ l
2. ผสมด้วยเครื่องเขย่าวน (Vortex) 5 ครั้ง แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20°C นาน 15 นาที
4. คูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
5. เติม 70% Ethanol ปริมาณ 90 μ l เพื่อล้างตะกอน DNA
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20°C นาน 5 นาที
7. คูดซับน้ำชั้นบนทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
8. เปิดฝาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ในที่มีดให้แห้งสนิท
9. ละลายตะกอน DNA ด้วย 10 mM Tris pH 8.5 ปริมาณ 20 μ l
10. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องนาน 15 นาที จากนั้นนำไปเขย่าวนด้วย Vortex
11. คูดสารละลาย DNA ที่ได้ลงในหลอดใหม่ประมาณ 5 μ l แล้วนำไปทำ Agarose gel electrophoresis

การตกตะกอน Sequencing product ด้วย 100% Ethanol

1. เติม 0.5M Sodium acetate 24 μ l และ 100% Ethanol 50 μ l ลงใน PCR product 20 μ l
2. ผสมด้วยเครื่องเขย่าวน แล้วทิ้งไว้ในที่มีดที่อุณหภูมิห้องนาน 20 นาที
3. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20°C นาน 30 นาที
4. คูดซับน้ำชั้นบน (Supernatant) ทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
5. เติม 70% Ethanol ปริมาณ 80 μ l
6. นำไปปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 16,400 rpm ที่อุณหภูมิ 20°C นาน 5 นาที
7. คูดซับน้ำชั้นบนทิ้งทั้งหมดเหลือไว้แต่ตะกอนที่ก้นหลอด
8. เปิดฝาทิ้งไว้ในที่มีดที่อุณหภูมิห้องนาน 1 ชั่วโมง ให้แห้งสนิท
9. เติมสารละลาย Hidi (Formamide) 17 μ l ลงในตะกอนดีเอ็นเอที่แห้งสนิทแล้ว

ภาคผนวก ข

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ตามลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซม แบบ Single allele และ Female sibling

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซมแบบ
Single allele

1. พ่อ – ลูกสาว

1.1 กรณีลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น Heterozygous

$$\begin{array}{ccc} \text{พ่อ (XY)} & \text{ลูกสาว (XX)} & \\ \text{A/-} & \text{A/B} & \\ \hline \text{โอกาสที่พ่อจะให้อัลลีล A} & = & \frac{X}{Y} \\ \text{โอกาสที่ชายทั่วไปจะให้อัลลีล A} & & \end{array}$$

กรณีนี้ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ในขั้นตอนแรกจึงต้องกำหนดลักษณะทางพันธุกรรมของแม่เด็กที่อาจเป็นไปได้ก่อนแล้ว จึงค้นหาโอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้เด็กมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในชายทั่วไป (Y) วิธีการโดยละเอียดทำได้ดังนี้

จำแนกลักษณะพันธุกรรมของแม่เด็ก ที่อาจจะเป็นไปได้ดังนี้

A/A, A/C, A/B, B/C และ B/B โดย C เท่ากับอัลลีลอื่น ๆ ในระบบนี้ที่ไม่ใช่ A หรือ B หาโอกาสที่แม่จะมีลักษณะทางพันธุกรรมในแต่ละแบบข้างต้น โดยคำนวณจากความถี่ของอัลลีลต่าง ๆ ในระบบดังกล่าว

$$\text{โอกาสที่จะเป็น A/A} = (F_A)^2 \text{ โดย } F_A = \text{ค่าความถี่ของอัลลีล A}$$

$$\text{โอกาสที่จะเป็น A/C} = 2F_A(1-F_A-F_B) \text{ โดย } F_B = \text{ค่าความถี่ของอัลลีล B}$$

$$\text{โอกาสที่จะเป็น A/B} = 2F_A F_B$$

$$\text{โอกาสที่จะเป็น B/C} = 2F_B(1-F_A-F_B)$$

$$\text{โอกาสที่จะเป็น B/B} = (F_B)^2$$

ค่า X หาได้ดังนี้



ตาราง 22 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมแบบต่าง ๆ ของแม่เทียบกับพ่อ

ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/A จะถ่ายทอด		โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดอัลลีลนั้น		โอกาสที่เป็นเช่นนั้น
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	1	B	0	$1 \times 0 \times (F_A)^2 = 0$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	0	$0.5 \times 0 \times 2F_A(1-F_A-F_B) = 0$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	0	$0.5 \times 0 \times 2F_A F_B = 0$
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	1	$0.5 \times 1 \times 2F_A F_B$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น B/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	1	$0.5 \times 1 \times 2F_B(1-F_A-F_B)$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น B/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	1	A	1	$1 \times 1 \times (F_B)^2$

$$\text{รวมค่า } X = F_A F_B + F_B(1-F_A-F_B) + (F_B)^2$$

$$= F_B$$

คือค่าความถี่ของอัลลีล B

ค่า Y หาได้ดังนี้

ตาราง 23 แสดงการคำนวณโอกาสการถ่ายทอดลักษณะพันธุกรรมแบบต่าง ๆ ของแม่เทียบกับชาย ๆ ทั่วไป

ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/A จะถ่ายทอด		โอกาสที่ชายทั่วไปจะถ่ายทอด อัลลีลนั้น		โอกาสที่เป็นเช่นนั้น
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	1	B	F_B	$1 \times F_B \times (F_A)^2$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	F_B	$0.5 \times F_B \times 2F_A(1-F_A-F_B)$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น A/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
A	0.5	B	F_B	$0.5 \times F_B \times 2F_A F_B$
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	F_A	$0.5 \times F_A \times 2F_A F_B$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น B/C จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	0.5	A	F_A	$0.5 \times F_A \times 2F_B(1-F_A-F_B)$
ลักษณะพันธุกรรมของแม่เป็น B/B จะถ่ายทอด				
อัลลีล	โอกาส	อัลลีล	โอกาส	
B	1	A	F_A	$1 \times F_A \times (F_B)^2$

$$\begin{aligned} \text{รวมค่า } Y &= F_B(F_A)^2 + F_A F_B(1-F_A-F_B) + F_A(F_B)^2 + (F_A)^2 F_B + F_A F_B(1-F_A-F_B) + F_A(F_B)^2 \\ &= 2F_A F_B \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้} = \frac{F_B}{2F_A F_B} = \frac{1}{2F_A}$$

1.2 กรณีลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น Homozygous

$$\begin{array}{ccc} \text{พ่อ (XY)} & \text{ลูกสาว (XX)} & \\ A/- & A/A & \\ \hline \text{โอกาสที่พ่อจะให้อัลลีล A} & = & \frac{X}{Y} \\ \text{โอกาสที่ชายทั่วไปจะให้อัลลีล A} & & \end{array}$$

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกสาวได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากอัลลีลทั้งสองของลูกสาวเหมือนกัน คือ อัลลีล A การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นหาได้จาก โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดชิ้นหนึ่งใดแล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะของดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในชายทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 1

ค่า Y คือ โอกาสที่ชายทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ F_A

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้ $= \frac{1}{F_A}$

เมื่อ F_A คือ ค่าความถี่ของอัลลีล A

2. แม่ – ลูกชาย

2.1 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น Heterozygous

$$\begin{array}{ccc} \text{แม่ (XX)} & \text{ลูกชาย (XY)} & \\ A/B & A/- & \\ \hline \text{โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A} & = & \frac{X}{Y} \\ \text{โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} & & \end{array}$$

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกชายได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากลูกชายจะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซม X มาจากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ ซึ่งโอกาสที่แม่จะถ่ายทอดโครโมโซม X หนึ่งใดแล้วทำให้ลูกชายมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/- (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 0.5

ค่า Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ F_A

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้ $= \frac{1}{2F_A}$

เมื่อ F_A คือ ค่าความถี่ของอัลลีล A

2.2 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอในตำแหน่งนั้นเป็น Homozygous

แม่ (XX)	ลูกชาย (XY)	
A/A	A/-	
$\frac{\text{โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A}}{\text{โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A}}$		$= \frac{X}{Y}$

กรณีนี้ สามารถกำหนดได้ว่าลูกชายได้อัลลีลอันไหนมาจากพ่อ และอัลลีลอันไหนจากแม่ เนื่องจากลูกชายจะได้รับการถ่ายทอดโครโมโซม X มาจากแม่ และโครโมโซม Y จากพ่อ ซึ่งโอกาสที่แม่จะถ่ายทอด โครโมโซม X หนึ่งใดแล้วทำให้ลูกชายมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/- (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y)

ค่า X คือ โอกาสที่พ่อจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ 1

ค่า Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะถ่ายทอดอัลลีล A มีค่าเท่ากับ F_A

ดังนั้น ค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในกรณีนี้ $= \frac{1}{F_A}$

เมื่อ F_A คือ ค่าความถี่ของอัลลีล A

การคำนวณค่าสัดส่วนความน่าจะเป็นของการตรวจพิสูจน์ในลักษณะการถ่ายทอดโครโมโซมแบบ Female sibling

1. แม่- ลูกสาว

1.1 กรณีที่คนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่ต่างกัน

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)	
A/B	A/C	
$\frac{\text{โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A}}{\text{โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A}}$		$= \frac{X}{Y}$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งโอกาสที่แม่จะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/C (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ $1/2$ ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวอาจจะได้รับอัลลีล A จากพ่อด้วย โดยมีค่าเท่ากับ $1/2$

ดังนั้นโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

$$Y \text{ คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} = f_A$$

$$\text{ดังนั้น} \quad X/Y = 1/4f_A$$



1.2 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่เหมือนกัน

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)	
A/B	A/B	
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A หรือโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B	=	X
โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A หรือโอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล B	=	Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่อาจถ่ายทอดอัลลีล A หรือ B แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A

X (A) คือโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ $1/2$ ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวอาจได้รับอัลลีล A จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ $1/2$ ด้วย

ดังนั้นโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

$$Y (A) \text{ คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A} = f_A$$

$$\text{ดังนั้น} \quad X (A)/Y (A) = 1/4f_A$$

โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B

X (B) คือโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B แก่ลูกสาวเท่ากับ $1/2$ ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวได้รับอัลลีล B จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ $1/2$ ด้วย

ดังนั้นโอกาสที่แม่จะให้อัลลีล B ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

$$Y (B) \text{ คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล B} = f_B$$

$$\text{ดังนั้น} \quad X (B)/Y (B) = 1/4f_B$$

นำทั้งสองโอกาสมารวมกัน $\{X/Y \text{ (รวม)}\} = f_A + f_B / 4(f_A f_B)$

1.3 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Homozygous และลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

Heterozygous

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)
A/A	A/B
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A	=
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A	X
	Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของลูกสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ 1 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่ลูกสาวได้รับอัลลีล A จากพ่อที่มีค่าเท่ากับ 1/2 ด้วย

ดังนั้น โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1 \times 1/2 = 1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A = f_A

ดังนั้น $X/Y = 1/2f_A$

1.4 กรณีแม่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น heterozygous และลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

homozygous

แม่ (XX)	ลูกสาว (XX)
A/B	A/A
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A	=
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A	X
	Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ลูกสาวจะรับอัลลีล A จากแม่เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวซึ่งเท่ากับ 1/2

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A = f_A

ดังนั้น $X/Y = 1/2f_A$

1.5 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเป็น Homozygous

แม่ (XX)		ลูกสาว (XX)
A/A		A/A
โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A		=
<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/>		<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/>
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		X
		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้แม่จะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้ลูกสาวมีลักษณะดีเอ็นเอดำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่แม่จะให้อัลลีล A แก่ลูกสาวเท่ากับ 1

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A = f_A
 ดังนั้น $X/Y = 1/f_A$

2. ย่า – หลาน

2.1 กรณีคนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่ต่างกัน

ย่า (XX)		หลานสาว (XX)
A/B		A/C
โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A		=
<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/>		<hr style="width: 80%; margin: 0 auto;"/>
โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A		X
		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งโอกาสที่ย่าจะถ่ายทอดยีนหนึ่งใดแล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอดำแหน่งนี้เป็น A/C (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ 1/2 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ 1/2 ด้วย

ดังนั้น โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A = f_A
 ดังนั้น $X/Y = 1/4f_A$

2.2 กรณีที่คนทั้งคู่มีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่เหมือนกัน

ย่า (XX)	หลานสาว (XX)	
A/B	A/B	
โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A หรือโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B		= X
โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A หรือโอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล B		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าอาจถ่ายทอดอัลลีล A หรือ B แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A

X (A) คือโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ $1/2$ ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ $1/2$ ด้วย

ดังนั้น โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y (A) คือโอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A = f_A

ดังนั้น $X(A)/Y(A) = 1/4f_A$

โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B

X (B) คือโอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B แก่หลานสาวเท่ากับ $1/2$ ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล B จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ $1/2$ ด้วย

ดังนั้น โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล B ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1/2 \times 1/2 = 1/4$

Y (B) คือโอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล B = f_B

ดังนั้น $X(B)/Y(B) = 1/4f_B$

นำทั้งสองโอกาสมารวมกัน $\{X/Y \text{ (รวม)}\} = f_A + f_B / 4(f_A f_B)$



2.3 กรณียามีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Homozygous และหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

Heterozygous

ย่า (XX)	หลานสาว (XX)
A/A	A/B
$\frac{\text{โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A}}{\text{โอกาสที่หญิงทั่วไปให้อัลลีล A}}$	$= \frac{X}{Y}$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ แต่ไม่สามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลของหลานสาวอันไหนมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าจะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/B (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ 1 ซึ่งโอกาสนี้จะรวมถึงโอกาสที่หลานสาวได้รับอัลลีล A จากแม่ที่มีค่าเท่ากับ 1/2 ด้วย

ดังนั้น โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A ทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $1 \times 1/2 = 1/2$

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A $= f_A$

ดังนั้น $X/Y = 1/2f_A$

2.4 กรณียามีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous และหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น

Homozygous

ย่า (XX)	หลานสาว (XX)
A/B	A/A
$\frac{\text{โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A}}{\text{โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A}}$	$= \frac{X}{Y}$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้หลานสาวจะรับอัลลีล A จากย่าเท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ 1/2

Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A $= f_A$

ดังนั้น $X/Y = 1/2f_A$

2.5 กรณีย่าและหลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Homozygous ทั้งคู่

ย่า (XX)	หลานสาว (XX)	
A/A	A/A	
โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A		=
โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A		$\frac{X}{Y}$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้แน่นอนว่าอัลลีลอันไหนถ่ายทอดมาจากแม่ และอันไหนมาจากย่า (ถ่ายทอดผ่านพ่อ) ซึ่งกรณีนี้ย่าจะถ่ายทอดอัลลีล A เท่านั้น แล้วทำให้หลานสาวมีลักษณะดีเอ็นเอตำแหน่งนี้เป็น A/A (X) เปรียบเทียบกับโอกาสแบบเดียวกันนี้ในหญิงทั่วไป (Y) ทำได้ดังนี้

- X คือ โอกาสที่ย่าจะให้อัลลีล A แก่หลานสาวเท่ากับ 1
- Y คือ โอกาสที่หญิงทั่วไปจะให้อัลลีล A $= f_A$
- ดังนั้น $X/Y = 1/f_A$

3. พี่น้องหญิงร่วมบิดา

3.1 กรณีพี่สาวและน้องสาวมีลักษณะดีเอ็นเอเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่ต่างกัน

พี่สาว (XX)	น้องสาว (XX)	
A/B	A/C	
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนเดียวกัน =		$\frac{X}{Y}$
โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน		Y

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้มารับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาว และน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียวกันลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ f_A รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1/2

และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็มีค่าเท่ากับ 1/2

ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $f_A \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_A$

$$\begin{aligned}
 Y \text{ คือโอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน} &= f_A \times f_A \\
 \text{ดังนั้น} \quad X/Y &= \frac{f_A \times 1/2 \times 1/2}{f_A \times f_A} \\
 &= 1/4f_A
 \end{aligned}$$

3.2 กรณีที่สาวและน้องสาวเป็น Heterozygous โดยมี Genotype ที่เหมือนกัน

พี่สาว (XX) น้องสาว (XX)

A/B A/B

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนเดียวกัน = $\frac{X}{Y}$

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนละคนกัน

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้มารับการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาว และน้องสาวอันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียวกันลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A หรืออัลลีล B ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A หรืออัลลีล B จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล A

X (A) คือโอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ f_A รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ $1/2$ และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ $1/2$

$$\text{ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ } f_A \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_A$$

Y (A) คือโอกาสที่คนทั้งคู่จะได้รับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน = $f_A \times f_A$

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น} \quad X(A)/Y(A) &= \frac{f_A \times 1/2 \times 1/2}{f_A \times f_A} \\
 &= 1/4f_A
 \end{aligned}$$

โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะได้รับอัลลีล B

X (B) คือโอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล B และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ f_B รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะได้รับอัลลีล B จากพ่อก็เท่ากับ $1/2$

และโอกาสที่น้องสาวจะได้รับอัลลีล B จากพ่อก็เท่ากับ $1/2$

$$\text{ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ } f_B \times 1/2 \times 1/2 = 1/4f_B$$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ เนื่องจากพ่อไม่ได้มีการตรวจด้วย จึงไม่สามารถกำหนดได้ว่าอัลลีลของพี่สาว อันไหนมาจากพ่อ ซึ่งกรณีนี้ตามทฤษฎีถ้ามีพ่อคนเดียวกับลูกสาวทั้งสองจะได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A ทำให้ทั้งสองมีลักษณะดีเอ็นเอที่สัมพันธ์กัน เปรียบเทียบกับโอกาสที่ทั้งสองได้รับการถ่ายทอดอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน ดังนี้

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ f_A รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะรับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ $1/2$

และโอกาสที่น้องสาวจะรับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ 1

ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $f_A \times 1/2 \times 1 = 1/2 f_A$

Y คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะรับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน $= f_A \times f_A$

ดังนั้น
$$\begin{aligned} X/Y &= \frac{f_A \times 1/2 \times 1}{f_A \times f_A} \\ &= 1/2 f_A \end{aligned}$$

3.5 กรณีพี่สาวและน้องสาวเป็น Homozygous ทั้งคู่

พี่สาว (XX) น้องสาว (XX)

A/A A/A

$$\frac{\text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะรับอัลลีล A จากพ่อคนเดียว}}{\text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะรับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน}} = \frac{X}{Y}$$

$$\frac{\text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะรับอัลลีล A จากพ่อคนเดียว}}{\text{โอกาสที่ลูกสาวทั้งสองจะรับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน}} = \frac{X}{Y}$$

การพิสูจน์ความสัมพันธ์ในกรณีนี้ใช้เมื่อมีอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ และสามารถกำหนดได้ว่าลูกสาวทั้งสองได้อัลลีล A จากพ่อ ดังนี้

X คือ โอกาสที่พ่อจะมีอัลลีล A และถ่ายทอดไปให้ลูกสาวทั้งสองคนเท่ากับ f_A รวมถึงโอกาสที่พี่สาวจะรับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ 1

และโอกาสที่น้องสาวจะรับอัลลีล A จากพ่อก็เท่ากับ 1

ดังนั้นทั้งหมดจึงมีค่าเท่ากับ $f_A \times 1 \times 1 = 1/f_A$

Y คือ โอกาสที่คนทั้งคู่จะรับอัลลีล A จากพ่อคนละคนกัน $= f_A \times f_A$

ดังนั้น
$$\begin{aligned} X/Y &= \frac{f_A \times 1 \times 1}{f_A \times f_A} \\ &= 1/f_A \end{aligned}$$

หมายเหตุ f_A และ f_B คือค่าความถี่ของอัลลีลที่แสดงความสัมพันธ์กันระหว่างผู้มารับการตรวจ

ภาคผนวก ก

ลำดับเบสของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลต์ที่ตำแหน่ง DXS101 ของอัลลีลที่ 19

ดัดแปลงมาจาก NCBI Reference Sequence: NW_927711.1

>ref|NW_001842387.1|:1182263-1182763 Homo sapiens chromosome X genomic contig,
alternate assembly (based on HuRef), whole genome shotgun sequence

ACTCTAAATCAGTCCAAATATCTCCCTTCAAAAACAAAGATAATACACACATATT
CATTTTCTTCTTCTTCTTCTTCTTCTTCTTATTATTATTATTATTATTATTATT
ATTATTATACTTTAAGTTCTGGGATACATGCGCAGAATATGCAGGTTTGTTACATA
AGTATACATGTGCCATGGAGTGATT

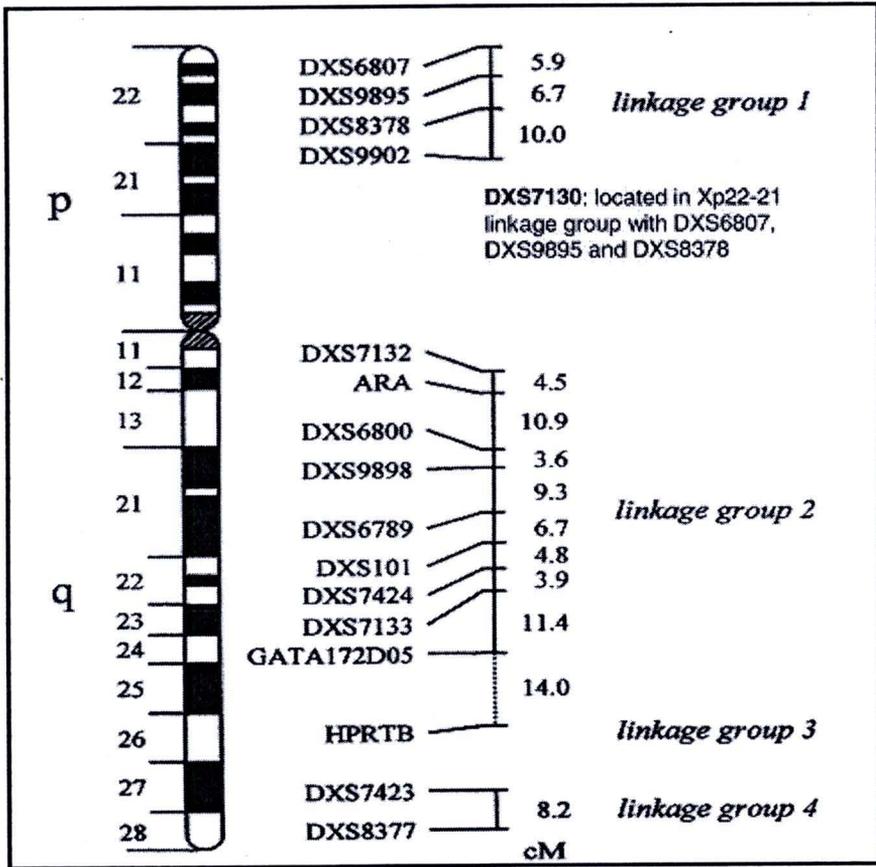
P_F : ACTCTAAATCAGTCCAAATATCT

P_R : TACATGTGCCATGGAGTGATT

N₃₈ : CCCTTCAAAAACAAAGATAATACACACATATTCATTTT

N₅₃ : ATACTTTAAGTTCTGGGATACATGCGCAGAATATGCAGGTTTGTTACATAAGTA

 : ช่วง Tandem Repeat



ภาพ 22 แสดงที่ตั้งของดีเอ็นเอไมโครแซทเทลไลท์ที่ตำแหน่ง DXS101 (Szibor *et al.*, 2003)

ประวัติผู้เขียน



ชื่อ-สกุล

นางสาวอนุสรฯ ดิศเจริญ

วัน เดือน ปีเกิด

29 กรกฎาคม 2529

ประวัติการศึกษา

2545- 2547

สำเร็จการศึกษามัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัด สกลนคร ปี 2547

2548-2552

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาจุลชีววิทยา
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2551

2553

สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา
นิติวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี 2554

