

บทที่ 2

การสำรวจ การวิจัยอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องและทฤษฎี

แอลกอฮอล์เป็นสารเหลวระเหยง่ายชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นส่วนประกอบหลักของเครื่องดื่มมีน้ำตาลหลายชนิด มีชื่อเรียกต่าง ๆ แตกต่างกันไปตามชนิดของวัตถุดิบ กรรมวิธีการผลิต หรือความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่เป็นส่วนประกอบ เช่น บรั่นดี เบียร์ ไวน์ รัม เป็นต้น (ตารางที่ 1)³⁷ การดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนประกอบเหล่านี้ในปริมาณมากจะทำให้เกิดผลเสียหลายอย่างเช่น ทำให้เสียบุคลิกภาพ เสียความสามารถในการควบคุมร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดปัญหาทั้งทางเศรษฐกิจและสังคม สูญเสียทรัพย์สิน พิกการทุพพลภาพ หรือเสียชีวิตได้ อันเนื่องมาจากโรคต่าง ๆ ที่แอลกอฮอล์เหนี่ยวนำให้เกิดขึ้นและจากอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นเนื่องจากความประมาทหรือการตัดสินใจผิดพลาดเพราะตกอยู่ภายใต้อิทธิพลของแอลกอฮอล์

คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ (Chemical and physical properties)

แอลกอฮอล์ในงานวิจัยนี้หมายถึงเฉพาะแอลกอฮอล์ชนิดเอทานอล (ethanol) เท่านั้น เนื่องจากเป็นแอลกอฮอล์ชนิดเดียวที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในเครื่องดื่มได้ เอทานอลเป็นแอลกอฮอล์ประเภท aliphatic monohydric alcohols มีสูตรเคมี $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ หรือ $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ น้ำหนักโมเลกุล 46.07 ที่อุณหภูมิห้องเอทานอลเป็นของเหลวใส มีจุดหลอมเหลวที่ $-117.3\text{ }^\circ\text{C}$ จุดเดือดที่ $78.5\text{ }^\circ\text{C}$ ไม่มีสี มีกลิ่นอ่อนๆ สามารถติดไฟได้ มีคุณสมบัติละลายในน้ำได้ดีมาก

หน่วยแสดงความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (Units of alcohol concentration)³⁸

หน่วยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์แสดงได้เป็นสองลักษณะคือ หน่วยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ (alcoholic beverages) และหน่วยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในร่างกาย

1. หน่วยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ แสดงได้หลายแบบ ได้แก่

1.1 แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หมายถึง จำนวนกรัมของแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร โดยทั่วไปเรียกย่อ ๆ ว่า "เปอร์เซ็นต์"

1.2 แสดงเป็นเปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หมายถึง จำนวนมิลลิลิตรของแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่ม 100 มิลลิลิตร โดยทั่วไปเรียกย่อ ๆ ว่า "ดีกรี"

1.3 แสดงเป็นปรูฟ (Proof spirit) สุราแรง 100 ปรูฟ หมายถึงสุราที่มีแอลกอฮอล์ 50 มิลลิลิตร ผสมน้ำ 50 มิลลิลิตร

2. หน่วยความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในร่างกาย แสดงได้หลายแบบขึ้นกับการนำไปใช้ได้แก่

2.1 ทางคลินิก หน่วยที่ใช้จะเป็นหน่วยในระบบ Statutory Instrument (International system of units, SI) ซึ่งจะรายงานหน่วยน้ำหนักเป็น โมลหรือมิลลิโมล (mole or millimole) และรายงานหน่วยปริมาตรเป็นลิตร (lite) เช่น โมล/ลิตร หรือมิลลิโมล/ลิตร เป็นต้น

2.2 ทางนิติพิษวิทยา หน่วยที่ใช้เป็น น้ำหนักต่อปริมาตร เช่น มิลลิกรัม/มิลลิลิตร มิลลิกรัม/เดซิลิตร กรัม/เดซิลิตร กรัม/ลิตรหรือมิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร(มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) เป็นต้น หรือรายงานเป็น น้ำหนักต่อน้ำหนัก เช่น มิลลิกรัม/กรัม หรือกรัม/กิโลกรัม เป็นต้น

ความรู้เกี่ยวกับเครื่องดื่มแอลกอฮอล์³⁹

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์หรือสุราหมายถึงเครื่องดื่มที่มีเอทานอลผสมอยู่ในปริมาณไม่เกิน 60 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ที่คนสามารถใช้ดื่มได้ และที่มาของแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มจะต้องเป็นแอลกอฮอล์ที่เตรียมจากวัตถุดิบที่ได้จากรัฐพืชในชั้นปฐมภูมิ (primary agricultural origin) เท่านั้น (เกณฑ์กำหนดมาตรฐานสากล) เช่น ผลไม้ ข้าว แป้ง รากพืช น้ำตาลจากพืชและผลไม้ เป็นต้น

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ แบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ คือ

1. เครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบบกลั่น คือเกิดจากการนำน้ำสำ (แป้งหรือน้ำตาลหมักด้วยยีสต์จนเกิดแอลกอฮอล์) มากลั่น อาจแต่งสี กลิ่นและรส ด้วยสารปรุงแต่งอื่น ๆ แล้วเก็บบ่มต่อไป เพื่อเพิ่มรสชาติ ได้แก่ สุราขาว (เหล้าโรง) สุราผสม สุราผสมพิเศษ (เหล้าเหลือง) บรันดี เป็นต้น
2. เครื่องดื่มแอลกอฮอล์แบบไม่กลั่น คือ ได้จากการหมักสำให้เกิดเป็นสุรา แต่ไม่มีการกลั่น มักจะหมักสำจากเมล็ดธัญพืช แป้งจากพืช ผลไม้ และน้ำตาลจากพืช เช่น เบียร์ ไวน์ชนิดต่าง ๆ กระแช่ น้ำข้าว น้ำตาลมาเป็นต้น

เครื่องดื่มทั้งสองประเภทนี้มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสมอยู่ในอัตราส่วนแตกต่างกันแสดงในตารางที่ 1 ตารางที่ 1 แสดงความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่มีในเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ชนิดต่าง ๆ³⁷

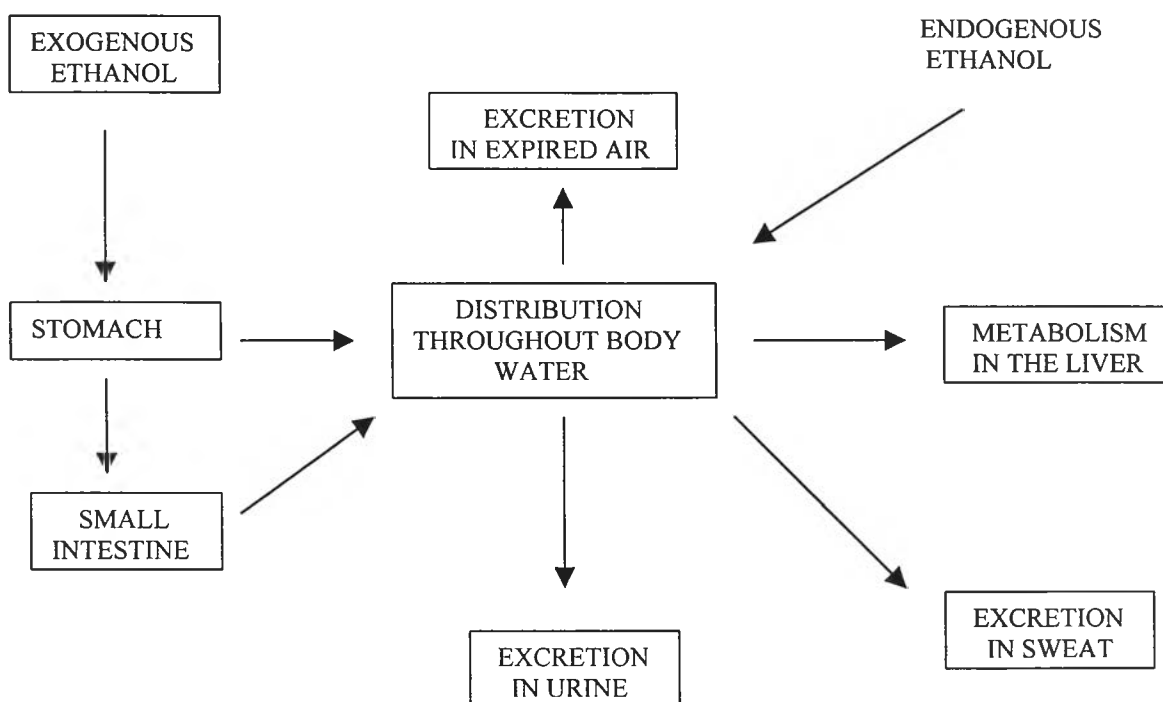
ชนิดเครื่องดื่มแอลกอฮอล์	ความเข้มข้น (เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร)
เบียร์	3-6
ไวน์ผลไม้	4-7
ไวน์ขาวหรือแดง	8-10
เวอร์มูทไวน์	12-14
แชมเปญ	8-10
ลิกเคอร์	20-30
ไวน์ฮังการี	15-20
วิสกี้, ยิน	35-40
บรันดี	30-32
รัม	60-70

เภสัชจลนศาสตร์ (Pharmacokinetics) ของแอลกอฮอล์

ขบวนการต่าง ๆ นับตั้งแต่แอลกอฮอล์เข้าสู่ร่างกายจนถูกขับถ่ายออกจากร่างกาย (สรุปไว้ในรูปที่ 1) ประกอบด้วยขบวนการดังต่อไปนี้

1. การดูดซึม (Absorption)

เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นสารที่มีขนาดเล็ก มีคุณสมบัติละลายน้ำได้ดีมากและไม่มีประจุ จึงสามารถแพร่ผ่านเนื้อเยื่อบุผิวช่องปาก หลอดอาหาร กระเพาะอาหารและลำไส้เข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตได้ทันที โดยไม่ต้องอาศัยระบบการย่อย เอนไซม์ หรือพลังงานใดๆ ไอของแอลกอฮอล์สามารถดูดซึมเข้าทางปอดได้ แอลกอฮอล์สามารถแพร่ผ่านทางผิวหนังได้เล็กน้อย แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ (90-98 %) ถูกดูดซึมระหว่างที่ผ่านลำไส้เล็ก บริเวณดูโอดีนัม และส่วนต้นของเจจูนัมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต มีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่ดูดซึมผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้ใหญ่ หลังจากดื่มแอลกอฮอล์เข้าไปจะตรวจพบในเลือดในเวลาประมาณ 15 นาทีและความเข้มข้นจะถึงจุดสูงสุดภายในเวลา 75 นาที^{40,41}



รูปที่ 1 แสดงเภสัชจลนศาสตร์ของแอลกอฮอล์⁴²

ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซึมของแอลกอฮอล์ (Factors affecting alcohol absorption)⁴³

โดยทั่วไปกระบวนการดูดซึมแอลกอฮอล์ของร่างกายใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง มีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลทำให้อัตราเร็วของการดูดซึมเปลี่ยนแปลง ได้แก่

1. ความเข้มข้นของเครื่องดื่มแอลกอฮอล์

เครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นสูง (มากกว่า 30 มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร) ฤทธิ์ระคายเคืองของแอลกอฮอล์จะทำให้เกิดรอยแดงและจุดเลือดออกขึ้น (Superficial erosions & hemorrhages) และยังทำให้ระบบกล้ามเนื้อเรียบของกระเพาะอาหารหดเกร็งและอัมพาต (pyloric spasm & paralysis of smooth muscular system of the stomach) ซึ่งทำให้อัตราการดูดซึมแอลกอฮอล์ลดลง

2. ชนิดของเครื่องดื่ม

ร่างกายสามารถดูดซึมแอลกอฮอล์จากเครื่องดื่มจำพวก distilled spirits ได้เร็วกว่าไวน์และเบียร์

3. รูปแบบและอัตราเร็วการดื่ม

จากการเปรียบเทียบระหว่างการดื่มครั้งเดียวหมดกับการค่อย ๆ ดื่ม พบว่าการดื่มแบบครั้งเดียวหมดจะทำให้ค่าความเข้มข้นสูงสุดของแอลกอฮอล์ในเลือดสูงสุด (peak alcohol concentration) สูงกว่าแบบค่อย ๆ ดื่ม

4. ปริมาณและชนิดของอาหาร

ปริมาณและชนิดของอาหารที่รับประทานขณะดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ มีผลต่อการดูดซึมของแอลกอฮอล์คือ อาหารปริมาณมากๆ อาหารบางชนิดที่ย่อยยาก จะทำให้ระยะเวลาในการบีบตัวไล่อาหารของกระเพาะไปลำไส้ (gastric emptying time) ยาวนานขึ้นทำให้แอลกอฮอล์ถูกดูดซึมลดลง อาหารที่มีโปรตีนไขมัน หรือคาร์โบไฮเดรต สูง ๆ จะทำให้ร่างกายดูดซึมแอลกอฮอล์ลดลงด้วย รวมทั้งยาหรือสารบางชนิด เช่น ยาในกลุ่ม non-selective anticholinergic drugs จะทำให้การบีบตัวของกระเพาะอาหารลดลงทำให้อัตราเร็วการดูดซึมแอลกอฮอล์ลดลงได้

5. ความว่างของกระเพาะอาหาร^{40,44}

การดื่มแอลกอฮอล์ในขณะที่กระเพาะอาหารว่าง ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดจะถึงจุดสูงสุดภายใน 15 นาที แต่ถ้าดื่มในขณะที่มีอาหารในกระเพาะ ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์จะถึงจุดสูงสุดในเวลาประมาณ 30-90 นาที การดื่มและกินอาหารไปด้วยหรือกินอาหารมาล่วงหน้าก่อนดื่ม จะสามารถลดความเข้มข้นสูงสุดของแอลกอฮอล์ได้ และเพิ่มระยะเวลาการขึ้นสู่จุดสูงสุดของความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดได้

6. อุณหภูมิของร่างกาย และการออกกำลังกาย

ถ้าลดอุณหภูมิของร่างกายลงหรือลดการออกกำลังกาย จะทำให้การดูดซึมแอลกอฮอล์ลดลง

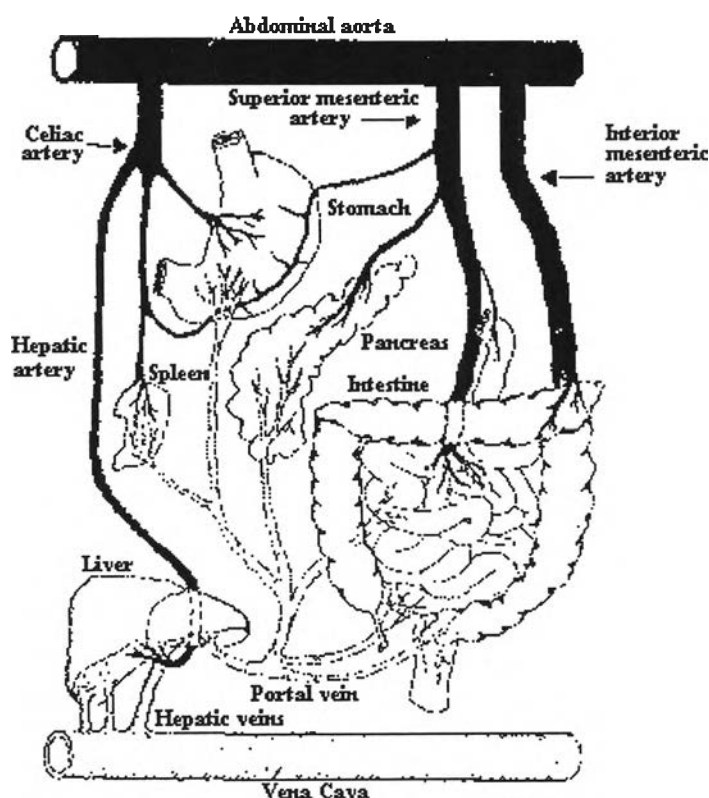
7. ผลของฮอร์โมน

ในบุคคลคนเดียวกับการดูดซึมแอลกอฮอล์ก็ไม่คงที่ด้วย (Intra-individual variation) แปรเปลี่ยนไปตามการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนในร่างกาย ตัวอย่างเช่น การดูดซึมของแอลกอฮอล์ของบุคคลเดียวกันมีความแตกต่างกันในช่วงเวลาต่างกันของรอบเดือน (stage of menstrual cycle) เป็นต้น

2. การกระจายตัว (Distribution)

แอลกอฮอล์จากทางเดินอาหารจะถูกนำเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตทาง portal vein เข้าสู่ตับและจากตับเข้าสู่ inferior vena cava ไปหัวใจ แล้วถูกสูบฉีดจากหัวใจส่งไปยังระบบต่าง ๆ ทั่วร่างกาย (รูปที่ 2) แอลกอฮอล์มีการกระจายตัวไปยังสารน้ำต่าง ๆ ในร่างกาย เช่น น้ำไขสันหลัง ไขมัน น้ำในช่องว่าง น้ำดี รวมทั้งเนื้อเยื่อต่างๆ เช่น สมอง หัวใจ ตับ ปอด รวมทั้งถุงลมปอดด้วย ปริมาณแอลกอฮอล์ที่อยู่ในชีวิตวัตถุต่างๆ นั้นจะมากหรือน้อยก็ขึ้นกับว่าเนื้อเยื่อหรือสารน้ำนั้น ๆ มีน้ำเป็นองค์ประกอบมากน้อยเพียงใด เนื่องจากแอลกอฮอล์ละลายได้ดีในน้ำ ดังนั้นเนื้อเยื่อที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบสูงเช่นน้ำไขสันหลัง ไขมัน น้ำในช่องว่าง หรือปัสสาวะ จะพบว่ามีความเข้มข้นแอลกอฮอล์สูงกว่าในไขกระดูกหรือเนื้อเยื่อไขมันที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบในปริมาณที่ต่ำกว่า

ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดจะถึงจุดสมดุลกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเนื้อเยื่อที่มีเลือดมาเลี้ยงมากเร็วกว่าเนื้อเยื่อที่มีเลือดมาเลี้ยงน้อยกว่า สมอง ปอด ไตและตับเป็นอวัยวะที่มีเลือดมาเลี้ยงมาก ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จะถึงจุดสมดุลก่อนกล้ามเนื้อลาย ซึ่งมีเลือดมาเลี้ยงน้อยกว่า



รูปที่ 2 แสดงการกระจายของแอลกอฮอล์ ผ่านระบบไหลเวียนโลหิต

เมื่อการกระจายตัวของแอลกอฮอล์ถึงจุดสมดุล ค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในชีววัตถุต่างๆ เทียบกับค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด ซึ่งให้มีค่าเท่ากับ 1 จะเป็นดังนี้คือ²

เลือด	1.00
พลาสมา และซีรัม	1.12 - 1.20
สมอง	0.85
น้ำไขสันหลัง	1.10 - 1.27
ปัสสาวะ (สวนจากท่อไต)	1.3
ลมจากถุงลมปอด	1/2100
ตับ	0.85

3. การเปลี่ยนแปลง การขจัดออกและการเปลี่ยนแปลงสารก่อนเข้าระบบไหลเวียนโลหิต⁴⁵

(Metabolism, excretion and first pass metabolism)

เมื่อเข้าสู่ร่างกายแอลกอฮอล์ 95-98 เปอร์เซ็นต์จะถูกเปลี่ยนแปลงในตับโดยเอนไซม์ alcohol dehydrogenase (ADH) เป็นส่วนใหญ่และส่วนน้อยจะถูกเปลี่ยนแปลงโดย microsomal ethanol oxidizing system (MEOS) และ catalase ประมาณ 2-5 เปอร์เซ็นต์ของขนาดที่ได้รับจะถูกขจัดออกในรูปแบบไม่เปลี่ยนแปลงทางลมหายใจ ปัสสาวะ เหงื่อ น้ำลาย หรือน้ำคั่งหลังอื่น ๆ พบว่าแอลกอฮอล์จำนวนหนึ่งถูกเปลี่ยนแปลงโดยเอนไซม์ ADH ที่อยู่ที่ผิวเยื่อกระเพาะอาหารและตับ ก่อนที่จะเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต (systemic circulation) เรียกกระบวนการนี้ว่า "first pass metabolism" หรือ FPM⁴⁶ ซึ่งผลของ FPM จะเห็นเด่นชัดถ้าดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณน้อย (0.15-3.00 กรัม/กิโลกรัม) หรือดื่มแอลกอฮอล์หลังอาหาร เพราะในสถานะเช่นนี้แอลกอฮอล์จะมีโอกาสสัมผัสกับเอนไซม์ ADH ที่อยู่ตามเยื่อกระเพาะอาหารได้นานพอที่จะเกิดปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงขึ้น ถ้าทำให้การเคลื่อนที่ของอาหารจากกระเพาะอาหารไปยังลำไส้ช้าลง จะทำให้ผล FPM ชัดขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการขจัดแอลกอฮอล์ออกจากร่างกาย⁴⁵ ได้แก่ ปริมาณแอลกอฮอล์ที่ดื่ม อุณหภูมิในการดื่ม ผลของอาหารที่กินร่วมด้วย นอกจากนี้ถ้าเพิ่มอุณหภูมิหรือความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในร่างกายสูง การขับออกก็สูงด้วย การขับออกของแอลกอฮอล์ทางปัสสาวะเป็นแบบ passive process มีค่า clearance rates ประมาณ 0.9 - 12.7 มิลลิลิตร/นาที ถ้าในเลือดมีน้ำตาลกลูโคส ฟรุกโทส หรือกาแล็กโทสสูง จะเร่งการขจัดแอลกอฮอล์ออกได้เพราะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันมากขึ้น การขจัดแอลกอฮอล์ออกมี circadian rhythmicity เป็น chronopharmacokinetic variations คืออัตราการขจัดออกมีความแตกต่างกันขึ้นกับช่วงเวลาของวัน พบว่า ช่วงบายร่างกายจะขจัดแอลกอฮอล์ได้เร็วกว่าในช่วงค่ำ

จากการศึกษาในคนที่ดื่มสุราปริมาณสูงเป็นประจำ (heavy drinkers) ก็ดื่มแอลกอฮอล์มากกว่า 100 กรัม/วัน ทุกวัน พบว่าในคน ๆ เดียวกัน ถ้าดื่มแอลกอฮอล์ครั้งเดียวในปริมาณมาก ๆ อัตราการขจัดออกจะสูงกว่าเมื่อเทียบกับการค่อย ๆ ทอยดื่ม

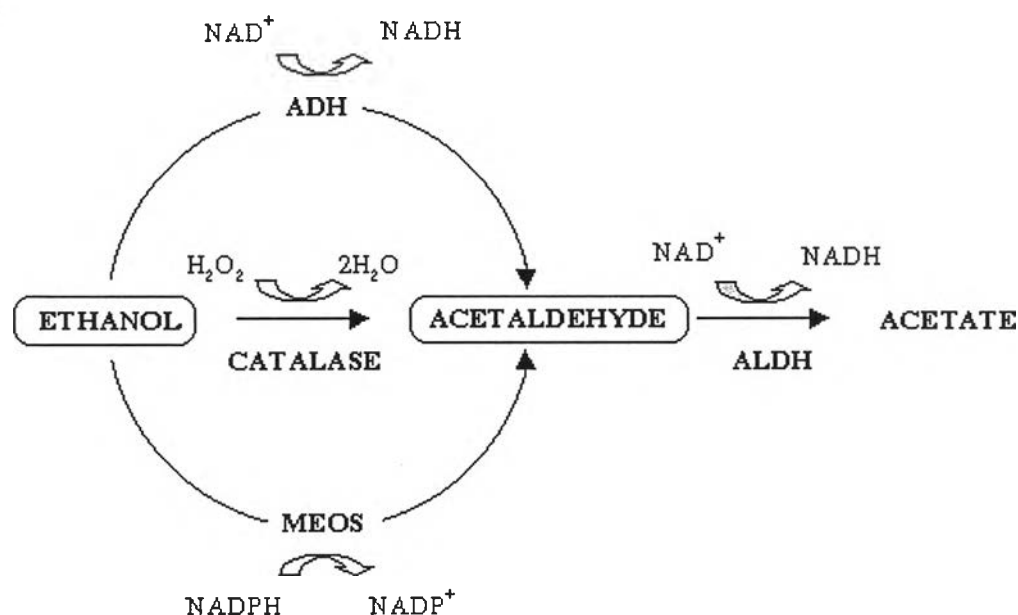
มีการทดลองในอาสาสมัครสองกลุ่ม⁴⁵ กลุ่มแรกเป็นชนปกติสุขภาพดีให้ดื่มแอลกอฮอล์ในปริมาณ 0.68 กรัม/กิโลกรัม แล้ววัด β -slope ได้เท่ากับ 9 มิลลิกรัม/เดซิลิตร/ชั่วโมง กลุ่มที่สองเป็นอาสาสมัครที่ดื่มแอลกอฮอล์หนักเป็นประจำ ให้ดื่มในขนาดเดียวกันพบว่า β -slope ได้เท่ากับ 36 มิลลิกรัม/เดซิลิตร/ชั่วโมง ซึ่งสูงกว่ากลุ่มแรกถึง 4 เท่า แสดงให้เห็นว่า อาสาสมัครในกลุ่มที่สองมีระบบ MEOS ที่ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงกว่าคนปกติ

เอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ในร่างกาย

แอลกอฮอล์เกือบทั้งหมดในร่างกายถูกเปลี่ยนแปลงโดยกระบวนการออกซิเดชัน โดยมีเอนไซม์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เอนไซม์ที่เร่งปฏิกิริยาเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ที่สำคัญมี 3 ชนิดคือ

1. alcohol dehydrogenase (ADH) อยู่ในไซโตซอล (cytosol)
2. microsomal ethanol oxidizing system (MEOS) อยู่ที่เอนโดพลาสมิก เรติคูลัม (endoplasmic reticulum)
3. catalase อยู่ที่เพอรอกซิโซม (peroxisome)

เอนไซม์ทั้งสามนี้เร่งการเปลี่ยนแปลงเอทานอลเป็นอะเซทัลดีไฮด์ ซึ่งจะถูกลดลงต่อเป็นอะซีเตท (รูปที่ 3) และอะซีเตทนี้จะถูกลดลงต่อเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ผ่านทาง citric acid cycle



รูปที่ 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ในร่างกาย โดยมีเอนไซม์ที่เกี่ยวข้อง 3 ชนิด เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

Alcohol Dehydrogenase (ADH)

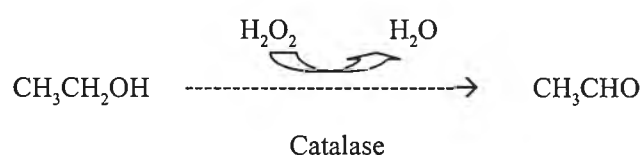
เป็นเอนไซม์หลักที่ใช้ในการออกซิไดส์แอลกอฮอล์ในร่างกายมนุษย์ เอทานอลจะถูกออกซิไดส์เป็นอะเซตัลดีไฮด์ โดยส่งผ่านอะตอมไฮโดรเจน ไปยัง nicotinamide adenine dinucleotide (NAD^+) ได้เป็น NADH เอนไซม์ ADH สามารถออกซิไดส์ได้ทั้ง primary, secondary, tertiary aliphatic alcohols และสามารถออกซิไดส์ cyclic alcohol บางชนิด ให้กลายเป็นอัลดีไฮด์ได้ การเร่งปฏิกิริยาของเอนไซม์ ADH เป็นแบบ zero order kinetic คือ อัตราเร็วในการเร่งปฏิกิริยาไม่ขึ้นกับปริมาณสารตั้งต้น ดังนั้นแม้จะมีสารตั้งต้นคือแอลกอฮอล์มาก อัตราเร็วในการเร่งปฏิกิริยาก็ไม่สูงขึ้น ADH มี K_m เท่ากับ 1-9 มิลลิกรัม/เดซิลิตร

Microsomal ethanol oxidizing system (MEOS)

แอลกอฮอล์ส่วนน้อย (น้อยกว่า 10%) จะถูกเปลี่ยนแปลงโดย MEOS ในตับ พบว่าในผู้ที่ดื่มสุราเป็นประจำจะกระตุ้นให้ MEOS activity เพิ่มขึ้น ระบบ MEOS มี K_m เท่ากับ 36-46 มิลลิกรัม/เดซิลิตร มีบทบาทสำคัญเมื่อมีการดื่มแอลกอฮอล์เป็นระยะเวลานาน

Catalase

เป็นเอนไซม์ชนิดหนึ่ง ที่เร่งปฏิกิริยาการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ ดังสมการ



catalase ในตับ ส่วนใหญ่จะอยู่ในเพอรอกซิโซม ซึ่งจะมีเอนไซม์จำพวก oxidase ชนิดอื่นอยู่ด้วย เช่น glycollate oxidase, amino acid oxidase และ urate oxidase เป็นต้น ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของปฏิกิริยา (rate limiting factor) คือ อัตราการสร้างไฮโดรเจน เพอร์ออกไซด์ (H_2O_2) ซึ่งเป็นสารตั้งต้นของปฏิกิริยา

การควบคุมอัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์โดยพันธุกรรม (Genetic control of alcohol metabolism rate)

อัตราเร็วการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ในแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน ซึ่งทั้งสิ่งแวดล้อมและการควบคุมทางพันธุกรรมล้วนแต่มีอิทธิพลต่อการทำลายแอลกอฮอล์ จากการศึกษานี้ในแฝด⁴⁷ พบว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ถูกควบคุมโดยพันธุกรรมด้วย ในแฝดแท้ที่เกิดจากไข่ฟองเดียวกัน (identical twins) อัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์จะเหมือนหรือใกล้เคียงกัน แต่ในแฝดไม่แท้ (fraternal twins) อัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์จะแตกต่างกันมากกว่า

ความแตกต่างของเชื้อชาติ (ethnic differences) ก็มีผลต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์³⁶ เช่นกัน มีหลายการศึกษาพบว่า ในคนเชื้อชาติจีน ญี่ปุ่น และอเมริกันพื้นเมือง ส่วนใหญ่จะมีอัตราการเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์สูงกว่าคนผิวขาว (caucasians)

ความจำเป็นในการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดในทางคลินิกและทางนิติเวชวิทยา

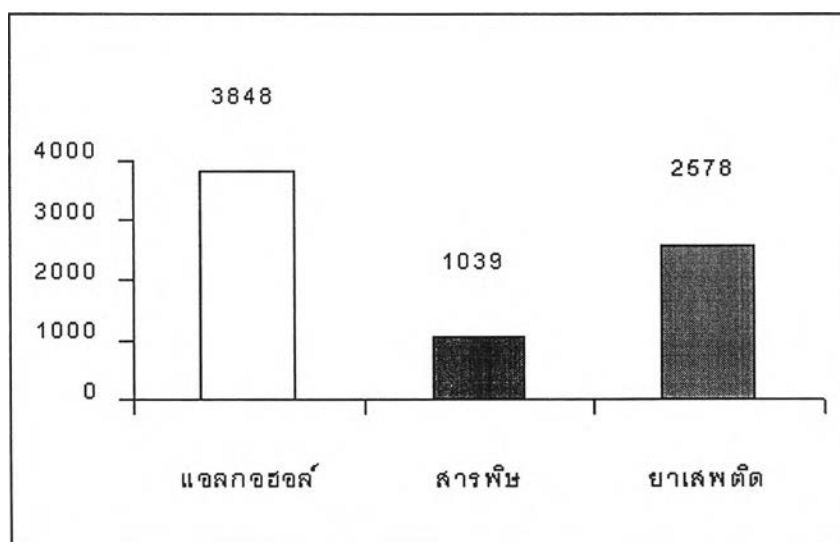
ในทางคลินิก

การวิเคราะห์เอกลักษณ์และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด เป็นประโยชน์แก่การวินิจฉัยการเจ็บป่วยจากสารพิษ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่มีการเจ็บป่วยจากสารพิษนั้น มีอาการแสดงทางคลินิกของการกระบบประสาทส่วนกลาง การตรวจเอกลักษณ์ทำให้ทราบชนิดของแอลกอฮอล์ เป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการรักษาความเป็นพิษที่จำเป็นต้องใช้วิธีการรักษาที่เฉพาะเจาะจงกับแอลกอฮอล์ชนิดนั้น ๆ

ในทางนิติเวชวิทยา

โดยเหตุที่แอลกอฮอล์มีฤทธิ์กดประสาทส่วนกลาง การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จนมีเมามีผลทำให้การรับรู้และการตอบสนองของร่างกายเปลี่ยนแปลงไปจากปกติ เป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ เป็นปัจจัยร่วมของการทำอัตวินิบาตกรรมและอาชญากรรมต่าง ๆ เป็นต้น การวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อให้ได้ข้อมูลสำหรับประกอบการพิจารณาสรุปสาเหตุของการตาย หรือพิจารณาตัดสินคดีความในกระบวนการยุติธรรม

โดยเหตุที่แอลกอฮอล์มักพบเป็นปัจจัยร่วม หรือเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ และการเสียชีวิตที่ต้องมีการชันสูตร ดังนั้นปริมาณงานตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จึงมีสูงกว่าปริมาณงานตรวจวิเคราะห์สารพิษชนิดอื่น ๆ ที่งานพิษวิทยา สถาบันนิติเวชวิทยา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ (รูปที่ 4)

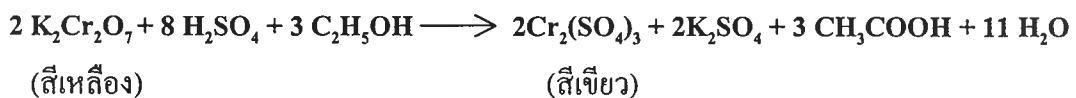


รูปที่ 4 แสดงปริมาณงานวิเคราะห์ทั้งสิ้น ในปี พ.ศ. 2541 ของงานพิษวิทยา สถาบันนิติเวชวิทยา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ

วิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีววัตถุ³⁸ แบ่งได้เป็น 4 วิธี ได้แก่

1. วิธีทางเคมี (Chemical oxidation methods)

การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยวิธีทางเคมีเป็นที่ยอมรับและใช้กันในทางนิติเวชวิทยาและพิษวิทยาตั้งแต่ปี ค.ศ. 1922 เรียกว่า Widmark's micromethod เรียกตามชื่อผู้คิดค้นชาวสวีเดน คือ Erik MP Widmark การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยวิธีนี้อาศัยหลักการทำให้แอลกอฮอล์ในชีววัตถุระเหยออกมาทำปฏิกิริยาโดยตรงกับสาร โพแทสเซียม ไดโครเมท (potassium dichromate) ในกรดกำมะถัน (sulfuric acid) ที่มากเกินพอ แอลกอฮอล์จะเป็นตัวรีดิวซ์โครเมทไอออนให้เป็นโครมิกไอออนทำให้สีเปลี่ยนจากสีเหลืองไปเป็นสีเขียวดังสมการต่อไปนี้



ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณของไดโครเมทที่ถูกรีดิวซ์ ดังนั้นจึงสามารถหาความเข้มข้นแอลกอฮอล์ได้ โดยการไตเตรตสารไดโครเมทที่เหลือด้วยสารประกอบไอโอดีน (iodometric titration) วิธีการนี้มีข้อจำกัดคือ มีความจำเพาะต่ำ ปฏิกิริยาออกซิเดชัน สามารถเกิดขึ้นได้ถ้าในชีววัตถุนั้นมีอะซิโตน เมทานอล หรืออีเทอร์อยู่ ซึ่งจะได้ผลเป็นผลบวกปลอม (false positive)

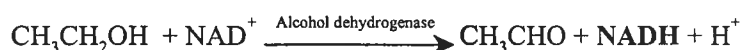
เนื่องจากการหาปริมาณแอลกอฮอล์โดยวิธีการไตเตรตเป็นเรื่องยุ่งยาก ในปี ค.ศ. 1950 จึงเริ่มมีการใช้เทคนิคสเปกโตรเมทรี (spectrometry) เพื่อวัดปริมาณ oxidizing agent แทนเรียกวิธีนี้ว่าวิธีของ Leifheit H ซึ่งเป็นที่นิยมกันมากกว่าแบบเดิม โดยขั้นตอนทางเคมียังเหมือนเดิม เมื่อทำปฏิกิริยาเคมีแล้ว นำน้ำยาที่เกิดปฏิกิริยาไปวัดค่าการดูดกลืนแสง (optical density, OD) ที่ความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) แล้วนำมาคำนวณเทียบกับสารมาตรฐานตามสูตร

$$\text{ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์} = \frac{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง} \times \text{ความเข้มข้นของสารมาตรฐาน}}{\text{ค่าการดูดกลืนแสงของสารมาตรฐาน}}$$

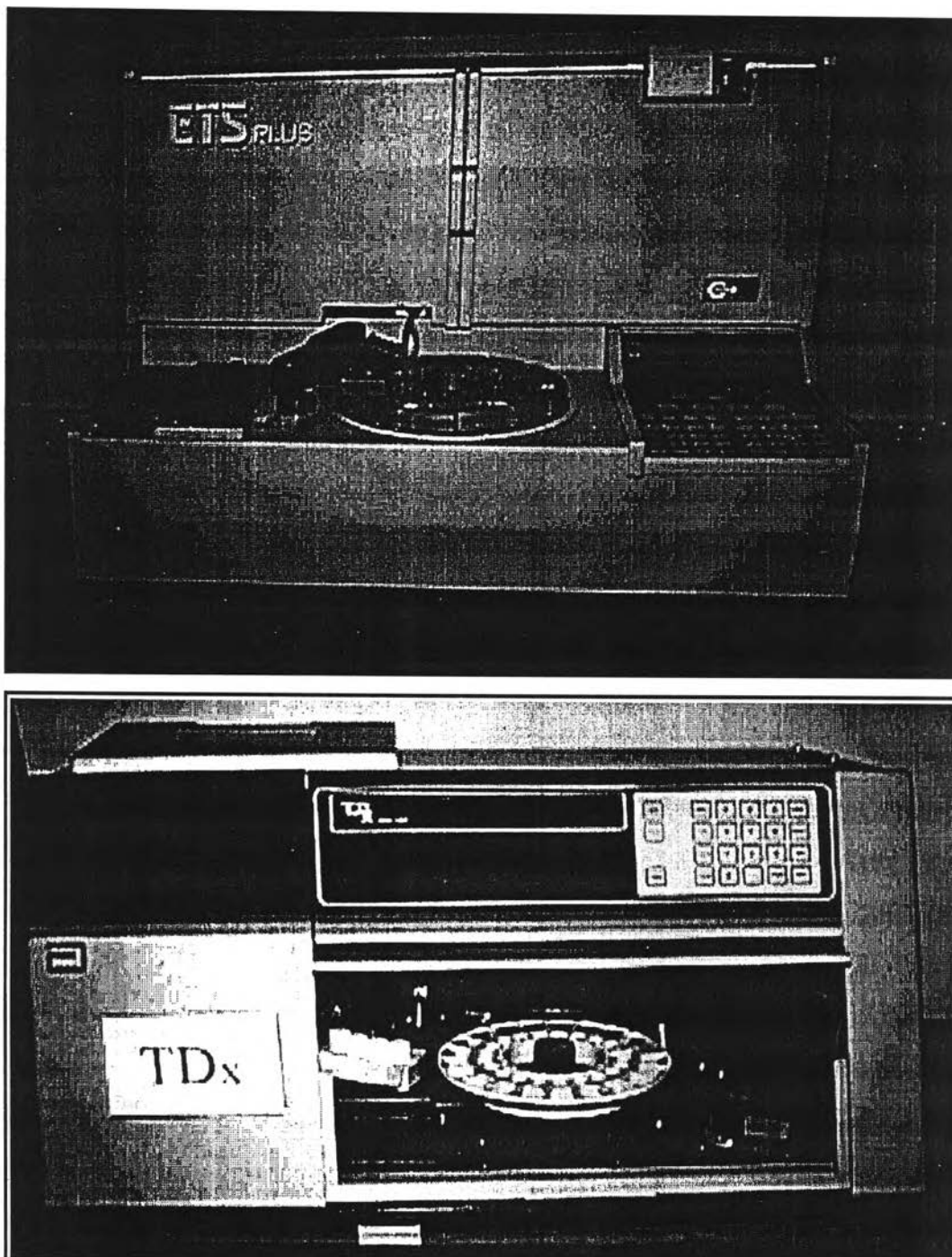
2. วิธีเอนไซม์ (Enzymatic methods)

ในช่วงทศวรรษ 1940 นักวิทยาศาสตร์สามารถแยกเอนไซม์ ADH จากตับม้าและจากยีสต์ได้สำเร็จ ต่อมาจึงได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยวิธีทางชีวเคมีนี้ขึ้นเรียกว่า ADH methods ซึ่งดีกว่าวิธีทางเคมี เนื่องจากมีความจำเพาะมากกว่า ไม่เกิดผลบวกลวงกับอะซิโตนหรืออีเทอร์ อย่างไรก็ตาม พบว่าเอนไซม์ ADH นี้สามารถออกซิไดส์แอลกอฮอล์ชนิดอื่นๆ ได้ด้วย ไม่จำเพาะกับ เอทานอลเท่านั้น ดังนั้นถ้าในตัวอย่างชีววัตถุ เช่นเลือด มีไอโซโพรพานอล (iso-propanol) หรือ เอ็นโพรพานอล (n-propanol) อยู่ เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์แล้วจะได้ค่าที่สูงกว่าความเป็นจริง

การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยวิธีนี้จะต้องตกตะกอนโปรตีนเสียก่อนด้วยกรดเปอร์คลอริก (perchloric acid, HClO₄) หรือกรดไตรคลอโรอะซิติก (trichloroacetic acid, CCl₃COOH) และปรับ pH ให้เป็น 9.6 ด้วยเซมิคาร์บาไซด์ บัฟเฟอร์ (semicarbazide buffer) จากนั้นจึงเติมเอนไซม์และโคเอนไซม์ (NAD⁺) ลงไปเพื่อเริ่มปฏิกิริยา ถ้าในตัวอย่างมีแอลกอฮอล์อยู่ NAD⁺ จะถูกรีดิวซ์เป็น NADH ซึ่งปริมาณ NADH ที่เกิดขึ้นจะสมมูลกับปริมาณแอลกอฮอล์ที่มีอยู่ วัดปริมาณ NADH ที่เกิดขึ้น โดยใช้เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ วัดการดูดกลืนแสงของ NADH ที่ความยาวคลื่น 340 นาโนเมตร เทียบกับกราฟมาตรฐานซึ่งสร้างขึ้นโดยใช้สารละลายมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้นของแอลกอฮอล์



จากหลักการของ ADH methods ได้มีการพัฒนาเทคนิคต่าง ๆ พร้อมนี้ยาสำเร็จรูปออกมาจำหน่าย ในปัจจุบันมากมาย เช่น Enzyme multiplied immunoassay technique (EMIT) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เทคนิคนี้ได้แก่ เครื่อง Enzyme multiplied immunoassay technique test system plus, ETS Plus (รูปที่ 5 บน) เป็นต้น เทคนิค Fluorescence polarization immunoassay (FPIA) ซึ่งเครื่องมือที่ใช้เทคนิคนี้ได้แก่ เครื่อง Therapeutic drug excellent, TD_x (รูปที่ 5 ถ่าง) และเครื่อง Abuse drug excellent, AD_x เป็นต้น เทคนิค Spin-off method หรือ Radioactive energy attenuation (REA) ซึ่งเทคนิควิธีเหล่านี้ นอกจากจะนำมาใช้วัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์แล้ว ยังสามารถประยุกต์ใช้ตรวจวัดระดับยาหรือสารชนิดอื่น ๆ ในชีววัตถุได้อีกด้วย



รูปที่ 5 แสดงเครื่องมือที่ใช้หลักการ ADH methods (บน) เครื่อง ETS Plus (ล่าง) เครื่อง TD_x

3. วิธี แก๊ส โครมาโตกราฟี (Gas chromatographic methods)

วิธีนี้ใช้วิเคราะห์เอกลักษณ์และปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่องแก๊ส โครมาโตกราฟี (gas chromatography, GC) ซึ่งมีหลักการดังนี้คือ เมื่อสารตัวอย่างอาจอยู่ในสภาพของเหลวหรือแก๊ส ถูกฉีดเข้าเครื่องที่บริเวณ injection port ซึ่งเป็นบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง สารจะถูกเปลี่ยนสภาพเป็นแก๊สทั้งหมดและถูกพาเข้าสู่คอลัมน์โดยแก๊สเฉื่อย เช่น ฮีเลียม หรือไนโตรเจน (เราเรียกแก๊สเฉื่อยที่เป็นตัวพาว่าเป็น mobile phase) เมื่อสารถูกพาเข้าสู่คอลัมน์ซึ่งบรรจุด้วย stationary phase อยู่ สารแต่ละชนิดจะมีความสามารถในการดูดซับกับ stationary phase ต่างกัน ทำให้ใช้เวลาในการเคลื่อนที่ออกจากคอลัมน์ต่างกัน เวลาที่ใช้ตั้งแต่ฉีดสารจนสารถูกพาออกจากคอลัมน์เรียกว่า retention time (Rt) ซึ่งโดยทั่วไปสารต่างชนิดกัน ส่วนใหญ่จะมี retention time ที่แตกต่างกันไป ทำให้แยกสารแต่ละชนิดออกจากกันได้ การตรวจปริมาณสามารถทำได้โดยการวัดความสูงของพีค (peak height) หรือพื้นที่ใต้พีค (peak area) เปรียบเทียบกับสารมาตรฐานที่ทราบความเข้มข้น

การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยวิธีนี้ เดิมต้องสกัดแอลกอฮอล์ออกจากเลือดก่อนจึงฉีดเข้าเครื่อง GC ได้⁴⁸ วิธีการสกัดนั้นอาจใช้สารละลายเอินโพรพิลอะซิเตท (n-propyl acetate) หรือใช้วิธีการกลั่น (distillation) ภายหลังนิยมเจือจางด้วยสารละลายมาตรฐานภายใน (internal standard solution) ในอัตราส่วน 1:5 หรือ 1:10 แล้วฉีดเข้าเครื่อง GC ซึ่งเราเรียกวิธีฉีดสารเข้าเครื่องแบบนี้ว่า วิธีฉีดโดยตรง (direct injection) ภายหลังมีการพัฒนาการนำสารเข้าเครื่องโดยการฉีดแก๊สที่อยู่เหนือตัวอย่างเข้าเครื่อง GC แทนวิธีฉีดโดยตรง เรียกว่าวิธีเทคนิคเฮดสเปซ (headspace technique) การใช้เทคนิคเฮดสเปซร่วมกับเครื่อง GC อาจเรียกว่า gas chromatographic headspace (GC-HS) (รูปที่12) วิธีนี้มีข้อดีคือไม่ทำให้อุปกรณ์ของเครื่องวิเคราะห์สกปรก มีอายุการใช้งานยาวนาน และสะดวกในการเตรียมตัวอย่าง สามารถวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จากชีววัตถุหลายชนิดมากขึ้น ต่างกับวิธีฉีดโดยตรงที่ทำได้ยากเมื่อใช้ชีววัตถุอื่นๆ เช่น สมออง ดับ หรือไข่กระดุก เป็นต้น⁴⁹

การเตรียมสารเพื่อวิเคราะห์ด้วยเทคนิคเฮดสเปซ จะต้องใส่สารละลายมาตรฐานภายในและตัวอย่างชีววัตถุในขวดแก้วปิดสนิท และให้ความร้อนที่ 50-60 °C จนแอลกอฮอล์ในชีววัตถุและในบรรยากาศภายในขวดแก้วถึงจุดสมดุล ซึ่งมีข้อควรระวังคือ การให้ความร้อนที่ 60 °C นานเกินไปโดยเฉพาะถ้าชีววัตถุเป็นตัวอย่างเลือด จะทำให้เอทานอลเปลี่ยนเป็นอะเซตัลดีไฮด์ได้ (จากปฏิกิริยา non-enzymatic oxidation โดย oxyhemoglobin) ซึ่งรบกวนการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ กรณีนี้สามารถป้องกันได้โดยการเติมโซเดียมเอไซด์ (sodium azide) หรือโซเดียม ไดไทโอไนท์ (sodium dithionite)⁵⁰ ลงในเลือดก่อนให้ความร้อน หรือให้ใช้ความร้อนต่ำ ๆ (40 °C หรือ 50 °C) นอกจากการใช้ความร้อนเพื่อให้แอลกอฮอล์ระเหยแยกตัวออกจากชีววัตถุแล้วยังมีอีกวิธีหนึ่งที่นิยมคือการใส่เกลืออนินทรีย์ (inorganic salt) เช่น โซเดียม คลอไรด์ (sodium chloride) หรือ โพแทสเซียม คาร์บอเนต (potassium carbonate) ซึ่งเกลือเหล่านี้ซึ่งมีคุณสมบัติในการละลายน้ำสูงกว่าแอลกอฮอล์ ทำให้แอลกอฮอล์แยกออกจากตัวอย่าง ได้เช่นเดียวกับการใช้ความร้อน

ปัจจุบันวิธีการวิเคราะห์แอลกอฮอล์แบบ GC-HS จัดเป็นวิธีที่เป็นมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในห้องปฏิบัติการทางคลินิกและทางนิติเวชวิทยา³⁸

4. วิธีอื่น ๆ (Other methods)

มีการนำเทคนิคเสดสเปซมาใช้ร่วมกับเครื่องมือชนิดอื่นนอกเหนือจากเครื่อง GC ได้แก่นำมาใช้ร่วมกับตัวตรวจวัด (detector) ที่เป็น electrochemical sensing, metal oxide semiconductor device วิธีเหล่านี้มีข้อจำกัดคือมีความจำเพาะต่ำ สารเคมีหลายชนิดสามารถรบกวนการอ่านผลได้ จึงนิยมใช้เป็นการตรวจวัดเบื้องต้นเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือสะดวกและรวดเร็วกว่าวิธี GC-HS นอกจากนี้มีการใช้ fuel-cell sensor ซึ่งนิยมใช้เพื่อวัดความแรงแอลกอฮอล์ในเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์เป็นส่วนผสม

เทคนิคใหม่ ๆ ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในห้องปฏิบัติการคลินิก ได้แก่การใช้ biosensors ซึ่งเตรียมโดยนำเอนไซม์ alcohol oxidase มาจับกับตัวยึดได้เป็น immobilized enzyme แล้วใส่ลงในขั้วตรวจวัด (bioelectrodes) ทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์โดยใช้หลักการ amperometry, colorimetry หรือ spectrophotometry อยางใดอย่างหนึ่ง

เทคนิค fourier transform infrared spectrometry (FTIR) ก็เป็นอีกวิธีที่มีใช้กัน โดยต่อเชื่อมกับเครื่อง GC ใช้วัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในผลิตภัณฑ์เบียร์

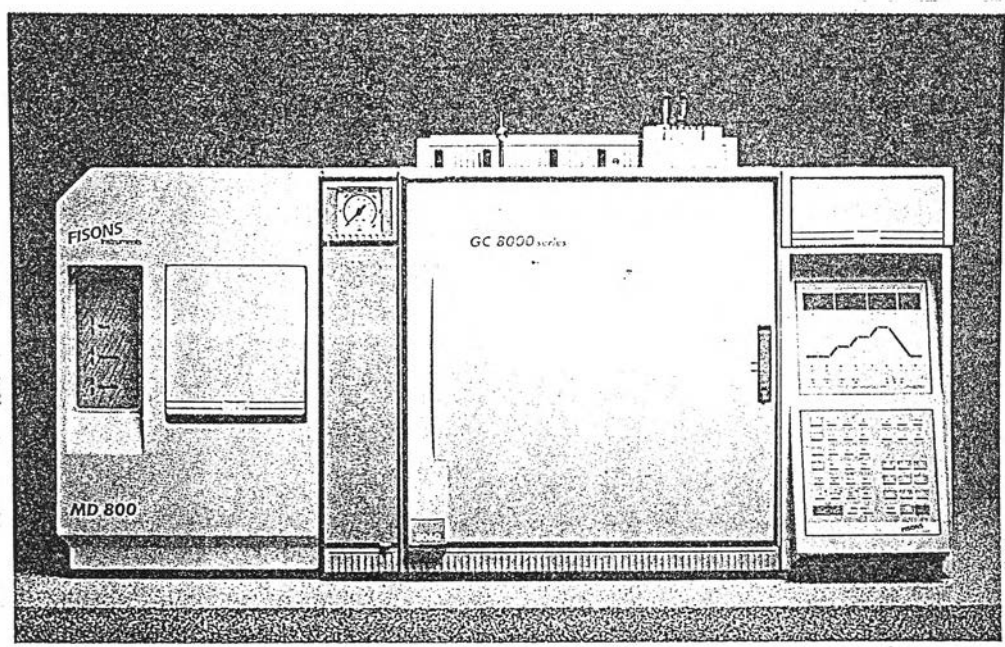
เทคนิค proton nuclear magnetic resonance spectroscopy (NMR) ก็มีการนำมาใช้ในการศึกษาทางเภสัชจลนศาสตร์ของเอทานอล อะซิโตน และ ไอโซโพรพานอล ในตัวอย่างพลาสมา

ในเวชศาสตร์ฉุกเฉิน ก็มีการนำเทคนิค freezing point depression osmometry มาใช้เพื่อตรวจเบื้องต้นว่าในตัวอย่างพลาสมานั้น ๆ มีแอลกอฮอล์หรือไม่ ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีคือใช้ตัวอย่างน้อยเพียง 0.2 มิลลิลิตรและวิธีนี้ ไม่ทำลายตัวอย่าง สามารถนำตัวอย่างนั้นไปวิเคราะห์โดยวิธีอื่นได้อีก

เทคนิคในการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์อีกเทคนิค ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้วัดสารเคมีได้มากมายหลายชนิดและไม่จำเป็นต้องทำการเก็บตัวอย่างเลือด หรือแทงเข็มเพื่อเก็บตัวอย่างอื่น ๆ แต่อย่างใด ก็คือเทคนิค near-infrared spectrometry ซึ่งใช้หลักการให้ลำแสงอินฟราเรด ซึ่งสามารถผ่านผิวหนังได้ ไปกระทบกับสารเคมีต่างๆ ที่อยู่ในกระแสเลือด เมื่อสารเคมีในเลือดได้รับแสงอินฟราเรดจะมีรูปแบบการดูดกลืนแสงแตกต่างกันไปตามความยาวคลื่น ข้อมูลทั้งหมดจะถูกวิเคราะห์ด้วยคอมพิวเตอร์โดยอาศัยเทคนิค computer-aided pattern recognition technique ซึ่งจะช่วยให้ทราบชนิดและความเข้มข้นของสารเคมีบางชนิดได้ การตรวจมักตรวจบริเวณปลายนิ้วหรือใบหู เพราะเป็นบริเวณที่มีผิวหนังบางและสามารถวางเครื่องมือง่าย ปัจจุบันเทคนิคนี้ใช้วิเคราะห์ปริมาณกลูโคสและแอลกอฮอล์ในเลือดได้ดีและคาดว่าในอนาคต เทคนิคนี้จะถูกพัฒนาต่อเพื่อใช้วัดระดับยา และสารเสพติดอื่น ๆ ในเลือดได้

เทคนิคสุดท้ายที่จะอธิบายต่อไปคือเทคนิค gas chromatography - mass spectrometry (GC- MS) (รูปที่ 6) ซึ่งใช้แก๊ส โครมาโตกราฟีในการแยกและเตรียมสารเพื่อวิเคราะห์มวลต่อประจุ (m/z) ของสารด้วยเครื่องแมส สเปคโตมิเตอร์ (mass spectrometer) โดยเอทานอลจะมีมวลต่อประจุที่ 31, 45 และ 46

การศึกษาเภสัชจลนศาสตร์ของเอทานอล ด้วยวิธี GC-MS จะติดตามเอทานอลด้วยดิวเทอเรียม (deuterium) เพื่อติดตามรูปแบบการกระจายตัว การเปลี่ยนแปลงและขับออกของเอทานอลในร่างกายสิ่งมีชีวิต^{51,52}



รูปที่ 6 แสดงเครื่องมือ gas chromatography - mass spectrometry (GC-MS)

ชีววัตถุที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์

เลือด (blood)

เลือดเป็นชีววัตถุที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับชีววัตถุอื่น เนื่องจากแอลกอฮอล์ถูกดูดซึมได้อย่างรวดเร็วผ่าน blood-brain barrier เข้าสู่สมองได้ดี เมื่อการกระจายตัวถึงสมดุลแล้ว ค่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดจะสะท้อนถึงความเข้มข้นที่แอลกอฮอล์ไปออกฤทธิ์ที่สมองในขณะนั้น²

การเก็บตัวอย่างเลือดในศพจากบริเวณต่างกันเช่นหัวใจ เส้นเลือดแดงหรือเส้นเลือดดำที่ คอ แขน ขา จะให้ผลค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์แตกต่างกัน จากการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดศพคนไทย 100 ตัวอย่าง⁵³ โดยเก็บเลือดจากตำแหน่งต่าง ๆ กัน 6 จุด คือ เส้นเลือดดำที่ขา (femoral vein) เส้นเลือดดำที่แขน (cubital vein) เส้นเลือดดำที่คอ(jugular vein) หัวใจด้านซ้าย (left heart) หัวใจด้านขวา (right heart) และเส้นเลือดดำที่ตับ (portal vein) พบว่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในตำแหน่งต่าง ๆ มีปริมาณแตกต่างกัน ที่เส้นเลือดดำที่ตับมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์สูงสุด และที่เส้นเลือดดำที่ขามีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ต่ำที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงข้อมูลผลต่างของค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเฉลี่ยที่เก็บจากต่างบริเวณกัน 6 จุด (หน่วยเป็นมิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)⁵³

	Femoral vein	Cubital vein	Jugular vein	Left heart	Right heart
Cubital vein	6.3563 ⁺	-			
Jugular vein	15.0203 ⁺⁻	8.4840 ⁺⁺	-		
Left heart	16.5213 ⁺⁺	9.9850 ⁺⁺	1.5009 ⁺	-	
Right heart	29.0776 ⁺⁺	22.5413 ⁺⁺	14.0572 ⁺⁺	12.5563 ⁺⁺	-
Portal vein	30.3824 ⁺⁺	23.8461 ⁺⁺	15.3621 ⁺⁺	13.8610 ⁺⁺	1.2649 ⁺

⁻ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.01 P < 0.01

⁺⁺ แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.001 P < 0.001

⁺ ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

โดยทั่วไปการเก็บตัวอย่างเลือดเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในบุคคลที่มีชีวิตจะเก็บจากเส้นเลือดดำที่แขน และในศพจะเก็บจากเส้นเลือดดำที่ขา เส้นเลือดดำที่คอและหัวใจ เป็นต้น ยกเว้นกรณีที่ไม่สามารถเจาะเลือดที่ตรงบริเวณนั้น ได้ก็อนุโลมให้เก็บจากที่อื่นได้ตามความเหมาะสม โดยระบุไว้ด้วยว่าเก็บเลือดจากบริเวณใด³⁷

จากคุณสมบัติที่แอลกอฮอล์ละลายน้ำได้ดี ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์จึงขึ้นกับปริมาณน้ำ (water content) ในชีววัตถุนั้น ๆ มีการศึกษาหนึ่งพบว่าเลือดที่เก็บจากศพ ภายใน 10 ชั่วโมงหลังเสียชีวิตจะมีค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำไม่แตกต่างจากเลือดที่เก็บจากบุคคลที่มีชีวิต โดยมีปริมาณน้ำเฉลี่ยเท่ากับ 80.4 % โดยน้ำหนัก ($n = 71$) เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยในบุคคลที่มีชีวิต (ชาย : 77.5-80.6 % , หญิง : 79.9-82.3 %) ในขณะที่เลือดที่เก็บ 24 ชั่วโมงหลังจากเสียชีวิตจะมีปริมาณน้ำลดลงน้อยมาก ดังนั้นจึงแนะนำให้เก็บตัวอย่างเลือดภายใน 24 ชั่วโมงหลังเสียชีวิต⁵⁴

ข้อจำกัดในการนำเลือดมาใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์

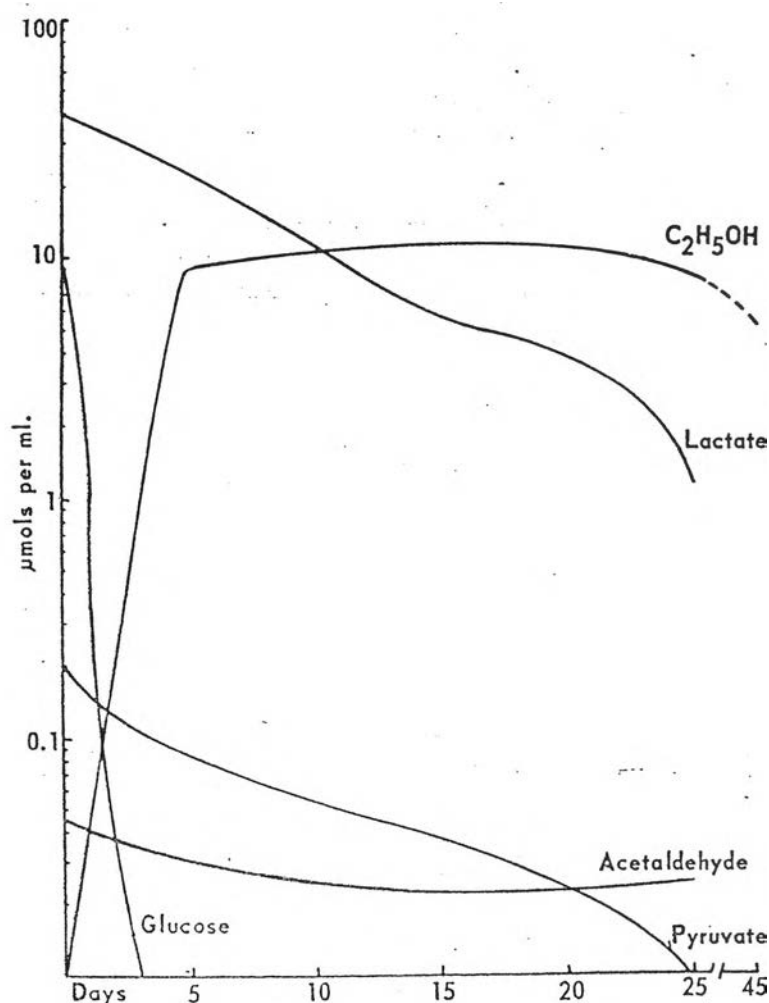
1. การปนเปื้อนของเชื้อโรค เลือดมีปัญหาเรื่องการปนเปื้อนเชื้อโรคสูงเพราะเป็นแหล่งของสารอาหารที่เชื้อสามารถเจริญเติบโตได้ดี โดยเฉพาะกลูโคส²⁵ ดังนั้นการใช้ตัวอย่างเลือดจึงมีข้อจำกัดเรื่องเวลา ยิ่งทิ้งไว้นานยิ่งจะทำให้มีเชื้อเพิ่มมากขึ้น มีผลให้การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดได้ค่าผิดไปจากความเป็นจริง²⁸ มีการศึกษาพบว่า ตัวอย่างเลือดที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อบางชนิดจะทำให้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ น้อยกว่าความเป็นจริง²⁶ ได้แก่ เลือดที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อ *Pseudomonas sp.* และเชื้อ *Serratia marcescens* การเจริญเติบโตของเชื้อเหล่านี้จะทำให้สูญเสียแอลกอฮอล์ในตัวอย่างไปบางส่วน พบว่าการเติมโซเดียม ฟลูออไรด์ความเข้มข้น 2 % W/V สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Pseudomonas sp.* ได้ แต่ไม่สามารถยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อ *Serratia marcescens* ได้ พบว่าการยับยั้งการเจริญของเชื้อ *Serratia marcescens* ทำได้โดยเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 4 °C) ตัวอย่างเลือดที่ปนเปื้อนด้วยเชื้อบางชนิดจะทำให้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ มากกว่า ความเป็นจริง^{24,27,28} ได้แก่ เชื้อพวก anaerobe และเชื้อที่เป็น normal flora ได้แก่ *Escherichai coli*, *Staphylococcus aureus* รวมทั้งเชื้อรา *Candida albican*⁵⁵ ด้วย

2. เอนไซม์บางชนิดในเลือด เอนไซม์บางชนิดในเลือดทำให้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ลดต่ำลง ได้แก่ เอนไซม์ alcohol dehydrogenase^{23,29,30} catalase³¹ และ microsomal ethanol oxidizing enzyme⁵⁶ สามารถเปลี่ยนแปลงแอลกอฮอล์ ทำให้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดลดต่ำกว่าความเป็นจริงได้

3. สภาพของศพ ในศพที่เน่าแล้ว (putrefied body) จะไม่สามารถเก็บตัวอย่างเลือดหรือตัวอย่างเลือดมีความไม่เหมาะสมในการนำมาใช้วิเคราะห์แอลกอฮอล์ หลังจากเสียชีวิตแล้วร่างกายจะมีการเน่าสลายตัว (decomposition) การเน่าสลายตัวของเนื้อเยื่อในร่างกายมีสองประการคือ การสลายตัวของเซลล์เอง (autolysis) และการเน่า (putrefaction) การสลายตัวของเซลล์เองเกิดจากปฏิกิริยาเอนไซม์ในเซลล์ถูกปล่อยออกมาย่อยเซลล์และเนื้อเยื่อ ปฏิกิริยาจะเกิดเร็วขึ้นถ้าอุณหภูมิสูงและอวัยวะที่มีเอนไซม์นี้มากจะสลายตัวได้เร็ว ส่วนการเน่าเป็นผลมาจากแบคทีเรีย ซึ่งส่วนใหญ่มีอยู่ในลำไส้ใหญ่อยู่แล้ว หลังตายแบคทีเรียเหล่านี้จะเริ่มเจริญเติบโต

มากขึ้น และสร้างแก๊สซึ่งส่วนใหญ่เป็นแก๊สไฮโดรเจนซัลไฟด์⁵⁷ แก๊สเหล่านี้จะแพร่ไปทั่วทุกส่วนของร่างกายรวมทั้งเส้นเลือดต่าง ๆ กระบวนการทั้งสองนี้ทำให้ไม่สามารถเก็บตัวอย่างเลือดในศพเนาได้เนื่องจากเส้นเลือดเกิดการสลายตัว เม็ดเลือดแดงแตก มีการปนเปื้อนของสารน้ำต่างๆที่ ไหลออกจากเซลล์ รวมทั้งมีแก๊สต่างๆที่เบคทีเรียสร้างขึ้นเกิดการสะสมรวมตัวมากขึ้นในเลือด ทำให้ตัวอย่างเลือดนั้น ๆ ไม่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์แอลกอฮอล์

4. ปริมาณกลูโคสในเลือด เลือดที่มีปริมาณกลูโคสสูง ทำให้การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ผิดพลาดได้เนื่องจากปฏิกิริยาสลายกลูโคส (glycolysis) ก็ทำให้ได้แอลกอฮอล์เช่นกัน รูปที่ 7 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นเทียบกับปริมาณกลูโคสที่หายไปเมื่อนำเลือดจากศพตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง ($20\text{ C}^{\circ} \pm 2\text{ C}^{\circ}$)²⁵



รูปที่ 7 แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดศพ เมื่อตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง²⁵

ปัสสาวะ (urine)

ข้อดีของการใช้ตัวอย่างปัสสาวะคือผู้เข้ารับการตรวจไม่ต้องเสี่ยงกับการติดเชื้อและเจ็บตัวจากการเจาะเลือด การเก็บตัวอย่างปัสสาวะที่ถูกต้องควรสวนปัสสาวะจากกรวยไตและท่อไตทั้งสองข้างรวมกัน ไม่ใช่เก็บเฉพาะจากกระเพาะปัสสาวะอย่างเดียวซึ่งเป็นเรื่องยุ่งยากจึงไม่มีผู้นิยมวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์จากปัสสาวะ ในทางปฏิบัติโดยทั่วไปจะเก็บปัสสาวะจากกระเพาะปัสสาวะเพียงอย่างเดียว แล้วนำมาคำนวณเป็นค่าความเข้มข้นในเลือดโดยหารด้วยแฟกเตอร์ 1.3 ข้อเสียของการใช้ตัวอย่างปัสสาวะคือในปัสสาวะมักมีกลูโคสปะปนอยู่ โดยเฉลี่ยอยู่ในช่วง 0 ถึงมากกว่า 2000 มิลลิกรัม/เดซิลิตร ในปัสสาวะที่มีกลูโคสและยีสต์จะมีการสร้างแอลกอฮอล์เกิดขึ้นได้จากกระบวนการหมัก (fermentation) มีการทดลองพบว่าในปัสสาวะที่เดิมไม่มีแอลกอฮอล์อยู่เลย แต่มีกลูโคสและยีสต์เมื่อทิ้งไว้หลายวันสามารถตรวจพบแอลกอฮอล์ได้ถึง 36 ถึง 2327 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์⁵⁸ สามารถป้องกันการสร้างแอลกอฮอล์ในปัสสาวะจากกระบวนการหมักได้โดยเติมโซเดียม ฟลูออไรด์ 1 % W/V ลงในตัวอย่างปัสสาวะ⁵⁹

ไขกระดูก (bone marrow)

ไขกระดูกเป็นอีกชีววัตถุหนึ่งที่น่าสนใจตรวจความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ด้วยเหตุผลหลายประการได้แก่

1. ไขกระดูกมีเส้นเลือดมาเลี้ยงมากทำให้การกระจายของสารต่าง ๆ มีความสัมพันธ์กับความเข้มข้นในเลือด อีกทั้งไขกระดูกถูกปกป้องด้วยกระดูก ในหลายกรณีที่ศพที่เสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุรุนแรงการเก็บตัวอย่างเลือดหรือชีววัตถุอื่น ๆ ไม่สามารถทำได้ แต่สามารถเก็บไขกระดูกได้ เนื่องจากมีการห่อหุ้มอย่างดี และสามารถเก็บได้จากหลายที่ เช่นกระดูกซี่โครง (rib) กระดูกต้นขา (femur) กระดูกหน้าแข้ง (tibia) กระดูกสะโพกเชิงกราน (hip) หรือกระดูกสันอก (sternum) เป็นต้น
2. มีการศึกษาเปรียบเทียบอัตราการเน่าของไขกระดูกเทียบกับเลือด พบว่าอัตราการเน่าของไขกระดูกช้ากว่าเลือด และแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากการเน่าตรวจพบน้อยกว่าในเลือดด้วย

อย่างไรก็ตามการใช้ไขกระดูกในการตรวจวิเคราะห์แอลกอฮอล์มีความยุ่งยากที่การแปลผลเนื่องจากไขกระดูกมีส่วนของไขมันเป็นองค์ประกอบค่อนข้างสูง แต่มีส่วนที่เป็นองค์ประกอบน้ำ (aqueous fraction) ต่ำ ในขณะที่แอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ละลายได้ดีในชั้นน้ำ ดังนั้นในการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จากตัวอย่างไขกระดูกจึงจำเป็นต้องหาปริมาณไขมันในตัวอย่างก่อน เพื่อนำไปหักลบกับปริมาณไขกระดูกทั้งหมดเพื่อให้ได้ปริมาณของส่วนที่เป็นองค์ประกอบน้ำ ' ซึ่งจะได้ค่าพยากรณ์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในไขกระดูกที่ใกล้เคียงกับค่าในเลือด

กล้ามเนื้อลาย (skeletal muscle)

กล้ามเนื้อลายเป็นอีกชีววัตถุหนึ่งที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ได้ เนื่องจากมีสัดส่วนขององค์ประกอบที่เป็นน้ำสูง⁶⁰ นิยมใช้กล้ามเนื้อต้นขา (femoral muscle) เนื่องจากมีปริมาณไขมันปนต่ำ จากการศึกษาปริมาณแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อลายเปรียบเทียบกับเลือด พบว่า อัตราการเกิดแอลกอฮอล์ภายหลังการตายทั้งชนิดเอทานอลและโพรพานอล (โพรพานอลส่วนใหญ่ได้จากปฏิกิริยาการหมักของยีสต์) ในเลือดสูงกว่าในกล้ามเนื้อลายแสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่เกิดการเน่าสลายตัวขึ้น กล้ามเนื้อลายก็เป็นอีกชีววัตถุหนึ่งที่สามารถนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ได้

สมองและน้ำไขสันหลัง (brain and cerebrospinal fluid, CSF)¹⁹

มีผู้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จากเนื้อสมอง โดยการตัดชิ้นเนื้อสมอง ปั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้ววิเคราะห์ปริมาณโดยใช้วิธี GC-HS พบว่ามีสหสัมพันธ์เชิงสถิติสูงเมื่อเทียบกับเลือด

ส่วนน้ำไขสันหลังนั้น มีผู้ทำการศึกษา^{8,19} พบว่าความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในน้ำไขสันหลังกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด เมื่อทดสอบทางสถิติแล้วให้ค่าสหสัมพันธ์สูง อย่างไรก็ตาม ความยุ่งยากของการเก็บน้ำไขสันหลังเป็นอุปสรรคที่ทำให้การวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จากชีววัตถุนี้ไม่ได้รับความนิยมเท่าที่ควร

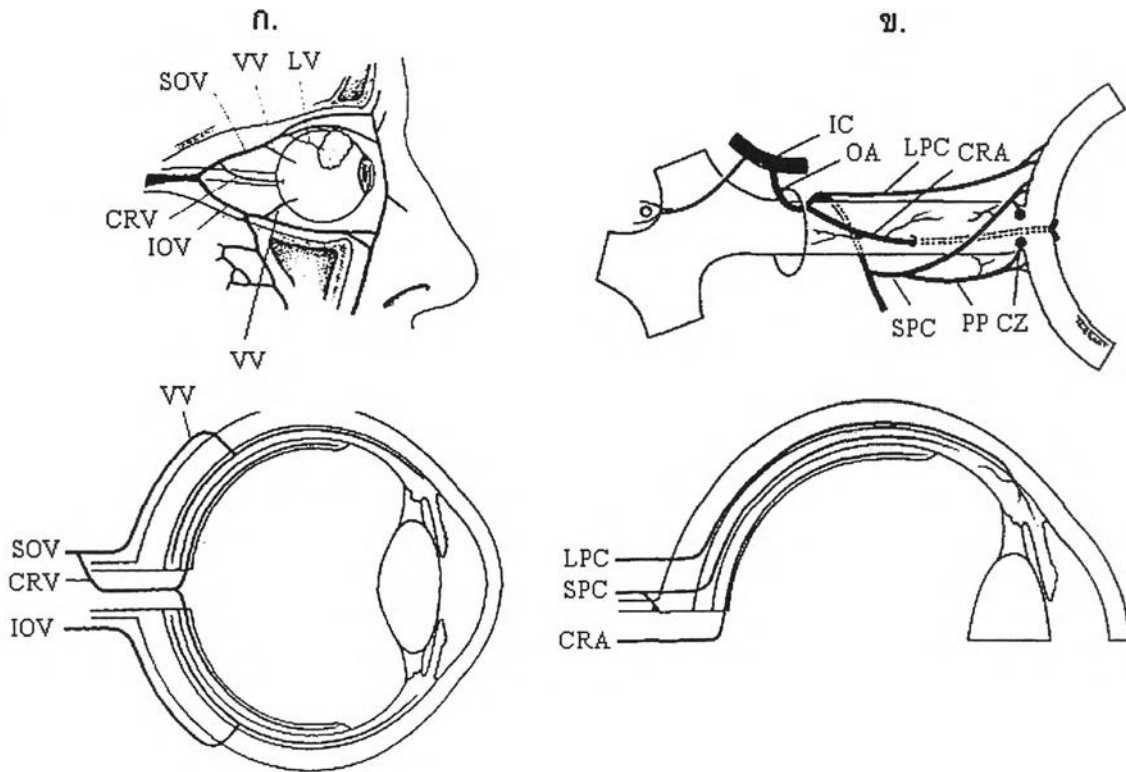
ตับ (liver)

มีผู้พยายามนำตับมาศึกษาเพื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ แต่พบว่าตับไม่ใช่ชีววัตถุที่ดีเนื่องจาก

1. ตับมีส่วนประกอบของไขมันสูงไม่เหมาะกับการวิเคราะห์¹⁹
2. ตับมีเอนไซม์อยู่หลายชนิดและปริมาณมาก ซึ่งสามารถออกซิไดส์แอลกอฮอล์ได้ ทำให้ค่าความสัมพันธ์ของความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในตับกับเลือดมีความแปรปรวน (variation) สูง
3. ตับเป็นอวัยวะที่อยู่ใกล้กับกระเพาะอาหารมาก จากการศึกษาการแพร่ (diffusion)⁶¹ ของแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์สามารถแพร่จากกระเพาะอาหารเข้าสู่ตับได้ง่าย ทำให้ตับเป็นชีววัตถุที่ไม่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์เพื่อนำไปแปลผลเป็นค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด

วุ้นลูกนัยน์ตา (vitreous humor)

วุ้นลูกนัยน์ตาเป็นของเหลวใส บรรจุอยู่ในลูกนัยน์ตาหน้าเรตินา มีส่วนประกอบส่วนใหญ่เป็นน้ำ ลูกนัยน์ตามีเส้นเลือดมาเลี้ยงจำนวนมาก ทั้งเส้นเลือดดำและเส้นเลือดแดง (รูปที่ 8) ดังนั้นการกระจายตัวของ สารต่าง ๆ ในเลือดกับวุ้นลูกนัยน์ตาจึงมีความสัมพันธ์กัน turnover time ของน้ำในวุ้นลูกนัยน์ตาเร็วมาก แอลกอฮอล์มีความสามารถในการละลายน้ำสูงดังนั้นจึงมีการนำวุ้นลูกนัยน์ตามาเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดกับในวุ้นลูกนัยน์ตา



รูปที่ 8 แสดงเส้นเลือดดำ (ก.) และเส้นเลือดแดง (ข.) ที่มาเลี้ยงวุ้นลูกนัยน์ตา

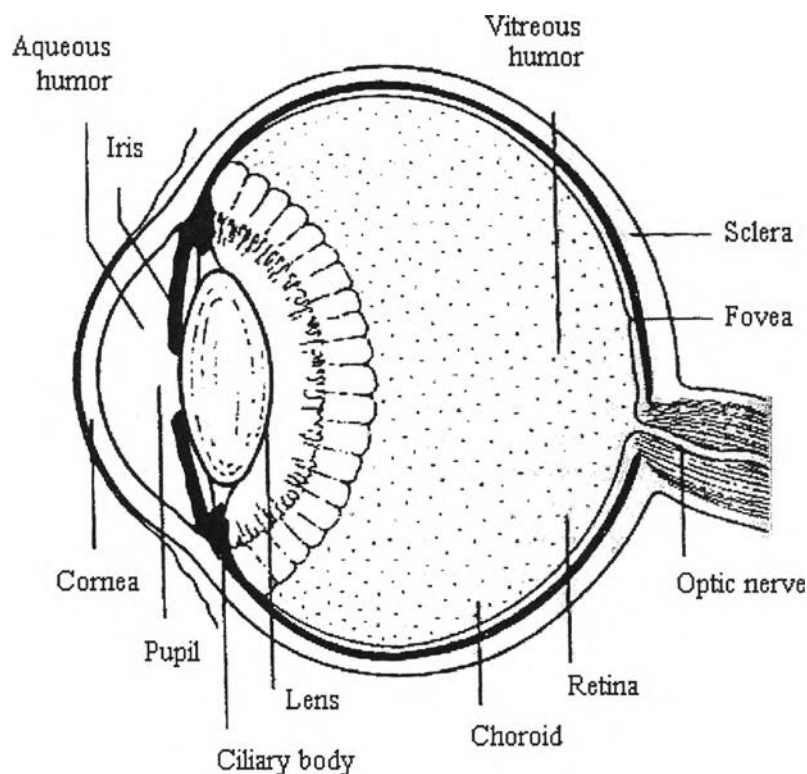
SOV = superior ophthalmic vein ; IOV = inferior ophthalmic vein ; LV = lacrimal vein ; VV = vortex vein ; CRV = central retinal vein ;

IC = internal carotid; OA = ophthalmic artery ;CZ = cricle of Zinn ; SPC = short posterior ciliary artery ; CRA = central retinal artery ; LPC = long posterior ciliary artery ; PP = pial plexus

การไหลเวียนภายในเรตินา (Inner retinal circulation)⁶²

เส้นเลือดหลักที่มาเลี้ยงลูกนัยน์ตาคือ ophthalmic artery (OA) เส้นเลือดที่ไปเลี้ยงเรตินาคือ central retinal artery (CRA) ซึ่งเป็นแขนงหนึ่งของ ophthalmic artery บริเวณที่เลี้ยงเรตินาจะแตกออกเป็นเส้นเลือดแดงฝอย (retinal capillary) จำนวนมาก ผนังของหลอดเลือดแดงฝอยเหล่านี้จะประกอบด้วย endothelial cell,

basement membrane และ mural cell ซึ่งผนังของเส้นเลือดแดงฝอยที่พบบริเวณนี้เหล่านี้จะมีลักษณะเหมือนกับที่พบที่สมอง (cerebral capillary) คือมีการเรียงตัวกันชิดสนิทเป็น tight junctions ทำหน้าที่เป็นเยื่อเลือกผ่าน เรียกว่า blood-vitreous barrier ซึ่งยอมให้สารอาหารผ่านเข้าและให้ของเสียและสารเมตาโบไลต์ผ่านออกไป



รูปที่ 9 แสดงส่วนประกอบทางกายวิภาคของลูกนัยน์ตา

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical properties)⁶³

วุ้นลูกนัยน์ตาเป็นของเหลวใส โดยทั่วไปในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมจะมีลักษณะเป็นวุ้นน้ำ (hydrogel) บรรจุอยู่ในช่องส่วนหลังของตา (รูปที่ 9) วุ้นลูกนัยน์ตาทำหน้าที่เหมือนเป็นโครงสร้างกึ่งแข็งสำหรับเรตินา มีลักษณะใสยอมให้แสงผ่านไปยังเรตินาได้ดี และช่วยเป็นตัวกลางให้สารอาหารแพร่จากส่วน ciliary body ไปยังเรตินาได้ วุ้นลูกนัยน์ตามนุษย์มีปริมาตรเป็น 2/3 เท่าของปริมาตรทั้งหมดของลูกนัยน์ตาและมีน้ำหนักเป็น 3/4 เท่าของน้ำหนักทั้งหมดของลูกนัยน์ตา⁶⁴ กล่าวคือมีปริมาตรเฉลี่ยประมาณ 3.9 มิลลิลิตร น้ำหนักเฉลี่ยประมาณ 3.9 กรัม มีน้ำเป็นองค์ประกอบ 98 % ถึง 99.7 เปอร์เซ็นต์ ความหนาแน่นของวุ้นลูกนัยน์ตาประมาณ 1.0053 ถึง 1.0089 ค่าแรงดันออสโมติกที่วัดโดยเทคนิค freezing point depression เท่ากับ -0.554°C ถึง -0.518°C มีค่า pH ประมาณ 7.5 ความหนืดของวุ้นลูกนัยน์ตาแปรไปตามอายุและพยาธิสภาพ โดยทั่วไปในสภาพปกติเท่ากับ 4.2 ลูกบาศก์เซนติเมตร/กรัม มีค่าดัชนีการหักเหแสง (refractive index) ต่ำ

กว่าของน้ำเล็กน้อย ค่าดัชนีการหักเหของแสงในมนุษย์อยู่ในช่วง 1.3345 ถึง 1.3348 โดยทั่วไปแสงในความยาวคลื่นที่มองเห็น (visible light) มากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์ สามารถผ่านวุ้นลูกนัยน์ตาไปตกกระทบเรตินาได้ดี ส่วนแสงอุลตราไวโอเล็ตในช่วง 300-350 นาโนเมตรยังพอสอดผ่านได้ แต่ถ้าความยาวคลื่นต่ำกว่า 300 นาโนเมตรไม่สามารถผ่านวุ้นลูกนัยน์ตาได้

ส่วนประกอบของวุ้นลูกนัยน์ตา³⁴

วุ้นลูกนัยน์ตาประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนประกอบส่วนใหญ่ถึง มากกว่า 99 % ของทั้งหมดที่เหลืออีก 1 % เป็นสารดังต่อไปนี้

1. คอลลาเจนหรือโปรตีน vitrosin เป็นโปรตีนที่ละลายน้ำที่อยู่ในวุ้นลูกนัยน์ตา เป็นส่วนที่ทำให้วุ้นลูกนัยน์ตามีลักษณะเป็นเจล โปรตีน vitrosin ประกอบด้วย glycine 18 %, proline 8.4%, hydroxyproline 15.4% และ cystine จำนวนเล็กน้อย
2. Hyaluronic acid เป็นสารพวก mucopolysaccharide ที่มีโมเลกุลของสารเป็นประจุลบจับอยู่ เช่น glucuronic acid และ N-acetyl glucosamine ทั้งโมเลกุลที่มีประจุลบเหล่านี้และ hyaluronic acid ทำหน้าที่เป็นตัวอุ้มน้ำเพิ่มปริมาตรของสารน้ำในลูกนัยน์ตา
3. โปรตีนที่ละลายน้ำที่อยู่ในน้ำในลูกนัยน์ตา มีอยู่ 2 ชนิดหลักคือ glycoproteins และ albumin
4. สารอื่น ที่เป็นสารประกอบน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่นกลูโคส สารอิเล็กโตรไลต์ เป็นต้น (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 แสดงส่วนประกอบของวุ้นลูกนัยน์ตา⁶³

Water and organic constituents (mg/100 ml H ₂ O)		Inorganic constituents (mmol/kg H ₂ O)	
Water	99,000	Sodium	137.0
Total nitrogen	23.5	Potassium	3.8
Protein	40	Chloride	112.8
Glucose	30 to 70	Bicarbonate	19.6 to 32.4 mEq/kg H ₂ O
Lactic acid	70		
Pyruvic acid	7.3		
Citrate	1.9		

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าปริมาณสารต่าง ๆ ในวุ้นลูกนัยน์ตามีลักษณะแตกต่างกับในพลาสมาอธิบายได้ว่า blood-retinal barrier หรือ blood-vitreous barrier มีคุณสมบัติเฉพาะเป็นเยื่อเลือกผ่าน เช่นเดียวกับใน blood-brain barrier ซึ่งคุณสมบัติในการเป็นเยื่อเลือกผ่าน ขึ้นกับขนาดของโมเลกุล และความสามารถในการละลายไขมัน พบว่ามีโปรตีนจำนวนเล็กน้อยที่สามารถผ่านเยื่อนี้ได้ สัดส่วนของโปรตีนในวุ้นลูกนัยน์ตาแตกต่างจากในพลาสมา เยื่อเลือกผ่านของ blood-vitreous barrier พบอยู่ที่บริเวณดังต่อไปนี้คือเซลล์บุผิวของ

หลอดเลือดที่เลี้ยงเรตินา (vascular endothelium of retina vessels) เซลล์บุผิวเม็ดสีของเรตินา (pigment epithelium of retina) เยื่อชั้นในของเซลล์บุผิว ciliary (the inner layer of ciliary epithelium) เป็นต้น ซึ่งพบว่าเยื่อเลือกผ่านเหล่านี้มีปั๊ม (pump) เพื่อแลกเปลี่ยนสาร organic anion จากวุ้นลูกนัยน์ตากับกระแสเลือด

ตารางที่ 4 แสดงความเข้มข้นของสารต่าง ๆ ในวุ้นลูกนัยน์ตาเปรียบเทียบกับในพลาสมาของกระต่าย⁶³

(m mol/kg H₂O)

Substance	Plasma	Vitreous
Sodium	143.00	134.00
Potassium	5.60	9.50
Chloride	97	104.7
Total CO ₂	20.60	26.00
Phosphate	2.04	0.40
Ascorbate	0.04	0.46
Lactate	10.30	12.00
Glucose	5.70	3.00
NPN	34.00	17.00

การแลกเปลี่ยนน้ำ⁶³

เวลาที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนน้ำระหว่างน้ำในเลือดกับน้ำในวุ้นลูกนัยน์ตา (turnover time) เกิดขึ้นเร็วมาก มีการทดสอบโดยฉีด tritiated water เข้าทางช่องท้อง และพบว่าสามารถตรวจพบ tritiated water ในวุ้นลูกนัยน์ตาในเวลาต่อมา จากการคำนวณพบว่าครึ่งหนึ่งของน้ำในวุ้นลูกนัยน์ตามีการไหลออกเพื่อเปลี่ยนกับน้ำใหม่จากเลือดภายใน 10 ถึง 15 นาทีเท่านั้น¹⁷ อัตราเร็วของการไหลเวียนน้ำเข้าออกจากวุ้นลูกนัยน์ตากับกระแสเลือดคำนวณได้ประมาณ 85 ลูกบาศก์มิลลิเมตรต่อนาที

การแลกเปลี่ยนกลูโคส

ปริมาณของกลูโคส, เมตาโบไลต์ของกลูโคส (ไพรูเวทและแลคเตท) และฟอสเฟต ล้วนแต่มีผลเกี่ยวข้องโดยตรงกับเลนส์และเรตินา เลนส์และเรตินาใช้กลูโคสในการสร้างพลังงานให้เซลล์ ปกติในวุ้นลูกนัยน์ตาจะพบกลูโคสในปริมาณที่ต่ำกว่าแต่จะพบแลคเตทและไพรูเวทในปริมาณที่สูงกว่าในเลือด การแลกเปลี่ยนของกลูโคสและสารเมตาโบไลต์ระหว่างเลือดกับวุ้นลูกนัยน์ตาเกิดขึ้นได้สามทาง คือแลกเปลี่ยนกันระหว่าง aqueous humor กับ vitreous humor แลกเปลี่ยนกันผ่านเรตินา และแลกเปลี่ยนผ่านเลนส์ พบว่ากลูโคสส่วนใหญ่แพร่เข้าวุ้นลูกนัยน์ตาผ่านเรตินาและปริมาณที่แพร่เข้าถูกควบคุมด้วยคุณสมบัติที่เป็นเยื่อเลือกผ่านของ blood-vitreous barrier

ข้อดีของวุ้นลูกนัยน์ตาในการนำมาใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์

1. ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตากับในเลือดมีความสัมพันธ์กันสูง⁴⁻¹⁸

การที่น้ำในวุ้นลูกนัยน์ตามี turnover time เร็ว สามารถแลกเปลี่ยนกับน้ำใหม่ในเลือดได้ดี⁶³ ดังนั้นการกระจายตัวของสารต่าง ๆ ในเลือดกับวุ้นลูกนัยน์ตาจึงมีความสัมพันธ์กันมาก

2. มีการปกป้องทางกายภาพและคงสภาพดี

เนื่องจากคุณสมบัติในเรื่องการปกป้องทางกายภาพ วุ้นลูกนัยน์ตามี vitreous barrier เป็นเยื่อเลือกผ่านและมี vitreous base (เป็นผนังหนาประมาณ 3-4 mm.) ช่วยปกป้องอีกชั้นหนึ่ง มีคุณสมบัติในการป้องกันการเพิ่มจำนวนของเชื้อจุลินทรีย์ที่เกิดจากการเนาได้ดี จากการศึกษาในศพเน่าจำนวน 51 ราย (เสียชีวิตมาแล้ว 1-5 วัน) เมื่อเก็บวุ้นลูกนัยน์ตามาเพาะเชื้อพบว่าตรวจพบเชื้อแบคทีเรียหรือยีสต์น้อยมาก²⁸ ดังนั้นสามารถเก็บวุ้นลูกนัยน์ตาจากศพได้ถึงแม้ว่าจะเสียชีวิตมานานเกินกว่า 1 สัปดาห์ และศพเริ่มเปลี่ยนสภาพแล้วก็ตาม ถ้าศพนั้นไม่สูญเสียน้ำมากเกินไป⁶

3. มีปริมาณกลูโคสต่ำ

เนื่องจากปริมาณกลูโคสในวุ้นลูกนัยน์ตามีน้อยเพียงครึ่งหนึ่งของในเลือดเท่านั้น ทำให้การเกิดไกลโคไลซิสมีน้อยกว่า ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาค่าใกล้เคียงกันเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างค่าที่ตรวจพบในตัวอย่างที่เก็บในเวลาห่างกัน

4. สามารถนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ได้แม้ว่าศพนั้นจะผ่านการรักษาสภาพมาแล้ว

โดยปกติ การรักษาสภาพศพในประเทศไทย นิยมทำ 2 วิธี คือ

1. เก็บในที่อุณหภูมิต่ำ เช่น ในตู้เก็บศพ หรือในหีบศพที่มีระบบปรับความเย็น ภาษาชาวบ้านเรียกว่า "โลงเย็น" ปัจจุบันนิยมใช้กันแทบทุกภูมิภาคของประเทศไทย

2. ใช้น้ำยาเคมีฉีดเพื่อรักษาสภาพศพ วิธีนี้นิยมมากกว่าวิธีแรก เนื่องจากสะดวกและสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายน้อยกว่า น้ำยาเคมีที่ใช้โดยทั่วไปเป็นสารละลายฟอร์มาลดีไฮด์ 37 เปอร์เซ็นต์ในส่วนผสมของสารละลายจะมีเมทานอลอยู่ 10 เปอร์เซ็นต์เพื่อเป็นสารเพิ่มความคงตัว ไม่มีเอทานอลเป็นส่วนประกอบ เมื่อฉีดยารักษาสภาพศพแล้ว ไม่สามารถนำเลือดมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ได้ แต่มีการศึกษาพบว่าสามารถนำวุ้นลูกนัยน์ตามาวิเคราะห์ได้ โดยทำการศึกษาเปรียบเทียบความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาก่อนและหลังฉีดยารักษาสภาพศพ⁶⁵ โดยเก็บตัวอย่างวุ้นลูกนัยน์ตาก่อนฉีดยาและหลังฉีดยาทันที จำนวน 38 ราย นำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์พบว่า ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาของทั้งสองกลุ่มไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่า หลังการฉีดยารักษาสภาพศพ เมื่อเก็บตัวอย่างวุ้นลูกนัยน์ตาโดยเร็วสามารถนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ได้

5. การเก็บตัวอย่างทำได้ง่าย ไม่ต้องผ่าทั้งตัว (full autopsy) เพื่อเก็บตัวอย่าง รวมทั้งวุ้นลูกนัยน์ตามีลักษณะเป็นน้ำของเหลว ทำให้สามารถนำไปใช้ในการตรวจวิเคราะห์ได้หลายวิธี

การใช้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาช่วยยืนยันผลตรวจในเลือด

ในการตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดของศพที่เริ่มเน่า จะมีปัญหาอย่างหนึ่งคือไม่ทราบว่าเป็นแอลกอฮอล์ที่พบนั้นเป็นแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นจากแบคทีเรียหรือยีสต์ในชีวะตณุนั้นสร้างขึ้นหลังจากเสียชีวิต (postmortem formation) หรือเป็นแอลกอฮอล์ที่ถูกดื่มเข้าไปก่อนเสียชีวิต (*in vivo ingestion*) ในกรณีเช่นนี้ทำให้การแปลผลความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดไม่ถูกต้อง การตรวจความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยประกอบการแปลผลได้ สำหรับในศพที่เริ่มเน่าวุ้นลูกนัยน์ตาเป็นชีวิตที่ เหมาะสมที่จะนำมาตรวจความเข้มข้นแอลกอฮอล์เพื่อยืนยันผลในเลือดเนื่องจากการแพร่จำนวนของเชื้อจุลินทรีย์เข้าวุ้นลูกนัยน์ตาทำได้ยากและในวุ้นลูกนัยน์ตาเองมีสารอาหารที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของเชื้อน้อย การสร้างแอลกอฮอล์ขึ้นเองในวุ้นลูกนัยน์ตาจึงเกิดขึ้นได้น้อยกว่า

จากการศึกษาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาในศพจำนวน 101 ราย¹⁵ เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลแล้วพบว่าแบ่งข้อมูลได้เป็นสองกลุ่ม คือกลุ่มแรกเป็นกลุ่มที่มีค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่า 30 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ พบว่าค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาถึง 83 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดจะได้ผลลบ (ตรวจไม่พบหรือตรวจพบน้อยกว่า 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ข้อมูลกลุ่มที่สองมีค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดมากกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และพบว่าค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตา 99 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดได้ผลบวก (มากกว่า 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) จากผลการทดลองนี้ ผู้วิจัยได้ให้ข้อสังเกตว่า ถ้าตรวจพบแอลกอฮอล์ในเลือดความเข้มข้นต่ำ (น้อยกว่า 30 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) และตรวจไม่พบแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาหรือมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาค่อนข้างต่ำ (น้อยกว่า 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) แอลกอฮอล์ที่พบในเลือดน่าจะเป็นแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นเองภายหลังเสียชีวิต แต่ถ้าตรวจพบแอลกอฮอล์ในเลือดมากกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตามากกว่า 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ แอลกอฮอล์ที่พบในเลือดน่าจะเป็นแอลกอฮอล์ที่เกิดขึ้นเองภายหลังเสียชีวิต

อีกการศึกษาหนึ่งทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเปรียบเทียบกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาในศพจำนวน 381 ราย¹⁶ พบว่าในรายที่มีค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาได้ผลบวกถึง 92 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมดและพบว่าเป็นแอลกอฮอล์ที่ดื่มเข้าไปก่อนเสียชีวิต จากการศึกษาทั้งสองข้างต้น ได้ข้อสังเกตสอดคล้องกันว่า ถ้าตรวจพบแอลกอฮอล์ทั้งในวุ้นลูกนัยน์ตาและในเลือด โดยค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดมีค่ามากกว่า 40-50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ขึ้นไป แอลกอฮอล์ที่ตรวจพบในเลือดนั้นน่าจะเกิดจากการดื่มเข้าไปเองก่อนเสียชีวิต แต่ถ้าพบความเข้มข้นต่ำ ๆ ในเลือดและตรวจไม่พบแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาแสดงว่าแอลกอฮอล์ที่พบในเลือดนั้นน่าจะเกิดจากการสร้างขึ้นเองหลังเสียชีวิต

การเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นเองภายหลังเสียชีวิต (postmortem alcohol formation)

การเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นเองภายหลังเสียชีวิต เป็นปัญหาที่พบเสมอในการแปลผลการตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดของศพว่าแอลกอฮอล์ที่ตรวจพบนั้นเป็นแอลกอฮอล์ที่ถูกคัมเข้าไปก่อนเสียชีวิต หรือเป็นแอลกอฮอล์ที่ถูกสร้างขึ้นภายหลังเสียชีวิต มีการศึกษาในหนูปราศจากเชื้อ (germ-free mice) เมื่อตายจะไม่เน่า เนื่องจากไม่มีเชื้อโรคอยู่แต่มีการสลายตัวเนื่องจากเอนไซม์ย่อยตัวเอง และการสลายตัวหลังตายของหนูนี้ไม่พบว่ามี การสร้างเอทานอลเกิดขึ้น พบเพียงอะซิโตนและอะเซตัลดีไฮด์จำนวนเล็กน้อยเท่านั้น ตรงกันข้ามกับหนูธรรมดาซึ่งมีเชื้อโรคเมื่อตายแล้วจะเน่า สามารถตรวจพบสารหลายชนิดเช่น เอทานอล กรดโพรพิโอนิก ไอโซโพรพานอลและเอน-โพรพานอล⁶⁸

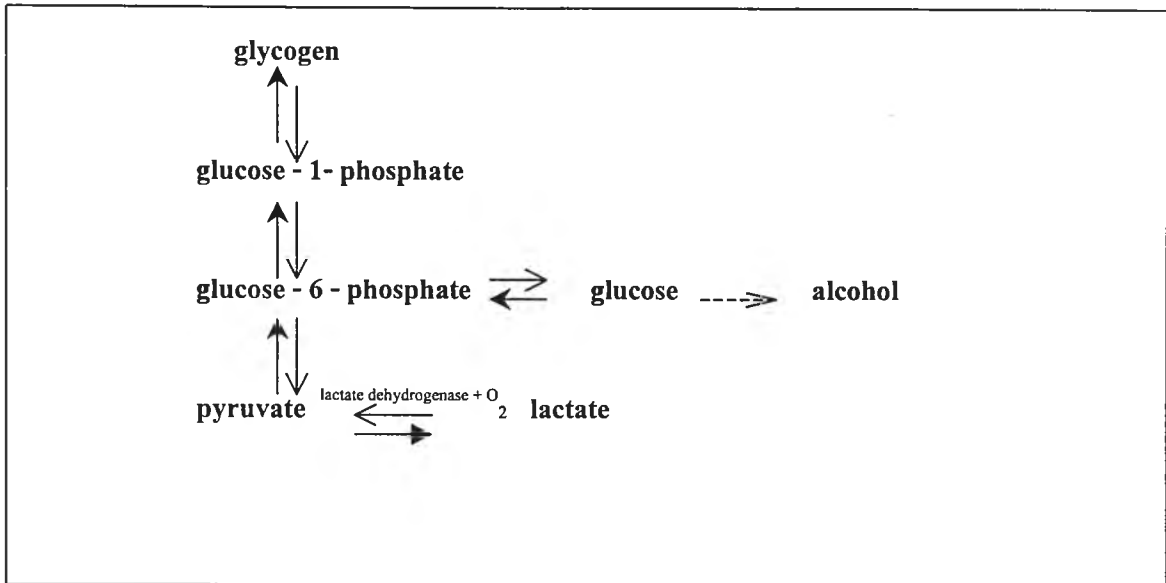
มีการทดลองนำศพทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 2-3 วันพบว่า มีแอลกอฮอล์เกิดขึ้นถึง 150 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และจากการศึกษาในศพเน่า 130 ราย พบว่ามี 23 ราย ที่ตรวจพบว่ามี การสร้างแอลกอฮอล์ขึ้น ในจำนวนนี้ 19 รายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ต่ำกว่า 70 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ 4 รายมีแอลกอฮอล์ในช่วง 110 ถึง 220 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์³⁵

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นเองภายหลังเสียชีวิต²⁵

1. แหล่งและปริมาณของสารตั้งต้น

การเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นเองในเลือดหรือเนื้อเยื่อภายหลังการเสียชีวิตเกิดจากกระบวนการหมัก (fermentation) ของเชื้อจุลินทรีย์กับสารอาหารกลุ่มคาร์โบไฮเดรตในเลือดหรือเนื้อเยื่อ ไกลโคเจนเป็นคาร์โบไฮเดรตชนิดหนึ่งที่มีผลต่อการสร้างแอลกอฮอล์ ซึ่งเชื้อจุลินทรีย์สามารถย่อยสลายผ่านกระบวนการไกลโคเจนโนไลซิส พบไกลโคเจนในปริมาณแตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของเนื้อเยื่อ ในตับพบไกลโคเจนประมาณ 1 - 8 กรัม/100 กรัม ในกล้ามเนื้อละลายพบ 1 - 4 กรัม/100 กรัม ในสมองพบในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นกับชนิดและพันธุ์ของสัตว์ โดยเฉลี่ยพบประมาณ 70 - 130 มิลลิกรัม/100 กรัม และในเรตินา (ของวัว) พบ 90 มิลลิกรัม/100 กรัม เป็นต้น ในกระบวนการสลายไกลโคเจนจะได้กลูโคสและสารอื่นๆ เช่น กลูโคส-6-ฟอสเฟต ไพรูเวทและแลคเตท ซึ่งไพรูเวทและแลคเตทสามารถเปลี่ยนกลับไปกลับมาได้ขึ้นกับว่ามีหรือไม่มีออกซิเจน (รูปที่ 10) ซึ่งกลูโคสเป็นสารตั้งต้นตัวสำคัญในการสร้างแอลกอฮอล์

นอกจากนี้ในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ของศพมีปริมาณแลคเตทอยู่ค่อนข้างสูง (ประมาณ 150 - 650 มิลลิกรัม/100 กรัม) ซึ่งสามารถใช้เป็นสารตั้งต้นที่สำคัญในการสร้างแอลกอฮอล์ โดยในสภาพที่มีออกซิเจนแลคเตทจะถูกเปลี่ยนเป็นไพรูเวท ซึ่งเป็นสารตั้งต้นตัวหนึ่งในการสร้างแอลกอฮอล์ของเชื้อจุลินทรีย์ มีการทำการทดลองในหลอดทดลองเพื่อสนับสนุนแนวคิดนี้ ได้ข้อสรุปว่า ในเลือดที่เน่า ณ อุณหภูมิห้อง พบว่าเชื้อจุลินทรีย์สามารถสร้างเอทานอลจากวิถีไกลโคไลซิสได้ และยังสามารถสร้างจากแอลกอฮอล์จากแลคเตทได้ โดยการเปลี่ยนแลคเตทเป็นไพรูเวทก่อน



รูปที่ 10 แสดงวิธีการเปลี่ยนแปลงสารคาร์โบไฮเดรต

2.โอกาสการแพร่กระจายของเชื้อโรค

ที่อุณหภูมิห้อง เชื้อจุลินทรีย์สามารถแพร่จำนวนได้อย่างรวดเร็วโดยแพร่ไปตามระบบไหลเวียนโลหิตของร่างกาย ภายหลังจากเสียชีวิต 6 ชั่วโมงและสามารถแพร่ออกจากผนังลำไส้ได้ภายหลังจากเสียชีวิตไปแล้ว 24 ชั่วโมง ภาวะบางอย่างมีส่วนสนับสนุนให้เชื้อแพร่ได้เร็วหลังเสียชีวิต ได้แก่ภาวะที่ได้รับบาดเจ็บก่อนเสียชีวิต มีแผลที่ลำไส้หรือเป็นมะเร็ง ดิคเชื้อมาก หรือมีเนื้อตาย เป็นต้น เชื้อโรคหลายชนิดที่พบเป็นปกติในทางเดินอาหารสามารถสร้างแอลกอฮอล์จนตรวจพบได้ในเลือด สมอง ตับ และเนื้อเยื่ออื่น ๆ รวมทั้งเชื้อรา *Candida albicans* ก็สามารถสร้างแอลกอฮอล์ได้จากกระบวนการหมักเช่นกัน

3.ผลของสภาพแวดล้อมและโรค

สภาพแวดล้อมและโรคเป็นปัจจัยที่เพิ่มโอกาสในการสร้างแอลกอฮอล์ในศพได้มากขึ้น เช่นการอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ร้อนอบอ้าว การเสียชีวิตในขณะที่มีปริมาณกลูโคสในเลือดสูง (terminal hyperglycemia) การเสียชีวิตจากติดเชื้อในกระแสเลือดอย่างรุนแรง การเสียชีวิตจากภาวะขาดเลือดเลี้ยงลำไส้ การเสียชีวิตจากบาดแผลที่ช่องท้อง หรือบาดแผลติดเชื้อ การเสียชีวิตเนื่องจากอุบัติเหตุที่มีบาดแผลฉีกขาดจำนวนมาก จะทำให้การติดเชื้อง่ายขึ้น เป็นต้น

การศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตากับในเลือด

วุ้นลูกนัยน์ตาเป็นชีววัตถุที่ได้รับความสนใจในงานตรวจพิสูจน์ทางนิติเวชวิทยามาตั้งแต่ปี ค.ศ.1959 โดยเริ่มแรกนำมาใช้ในการประเมินระยะเวลาหลังการตาย (Postmortem interval) ซึ่งมีการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของโพแทสเซียมในวุ้นลูกนัยน์ตาที่เพิ่มขึ้นจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะเวลาหลังตายเป็นชั่วโมง⁶⁷ ต่อมา มีการวิเคราะห์ปริมาณสารอื่น ๆ จากวุ้นลูกนัยน์ตา เช่น กลูโคส ครีเอตินีน และยูเรีย เป็นต้น การศึกษาความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตาเริ่มขึ้นในปี ค.ศ. 1966 จนถึงปัจจุบัน⁴⁻¹⁸ โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในประเทศทางทวีปยุโรปและอเมริกา ความแตกต่างของการศึกษาเหล่านี้ ได้แก่ ชนิดของชีววัตถุ (เช่น วุ้นลูกนัยน์ตา ปัสสาวะ น้ำดี กล้ามเนื้อ ไกกระดูก สมองและน้ำไขสันหลัง) ที่นำมาเปรียบเทียบความสัมพันธ์กับเลือด ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด วิธีการตรวจวิเคราะห์ (เช่นวิธีทางเคมี วิธีทางเอนไซม์หรือวิธีแก๊สโครมาโตกราฟีทั้งวิธีฉีดโดยตรงและวิธีเทคนิคเฮคสเปซ) รวมถึงวิธีการวิเคราะห์ข้อมูลและรายงานผล เป็นต้น

งานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (blood alcohol concentration, BAC) และความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในวุ้นลูกนัยน์ตา (vitreous humor alcohol concentration, VHAC) รวมทั้งในชีววัตถุอื่น ๆ ได้สรุปแสดงไว้ในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 สรุปงานวิจัยที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด วันลูกนัยน์ตาและชีวิตลูกอื่น ๆ

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1966 ⁴	40	เลือด วันลูกนัยน์ตา	-	สหรัฐอเมริกา	วิธี GC แบบวิธีฉีด โดยตรง	เส้นเลือดค้ำที่ ขา หัวใจ เส้นเลือดเส้น ใหญ่ๆ	พบว่า ค่า BAC และ VHAC มีความสัมพันธ์กันสูง โดยมีค่าความแตกต่างของความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและวันลูกนัยน์ตาอยู่ในช่วง 1 – 40 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (เฉลี่ย 11 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)
1968 ⁵	20	เลือด วันลูกนัยน์ตา	-	สหรัฐอเมริกา	วิธีทางเคมี และวิธี เอนไซม์	เส้นเลือดเส้น ใหญ่ๆ	พบว่าค่า BAC และ VHAC มีความสัมพันธ์กันสูง และผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีวิตลูกทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมีและวิธีเอนไซม์ให้ผลใกล้เคียงกัน
1969 ⁶	27	เลือด วันลูกนัยน์ตา กล้ามเนื้อ	0.74	เดนมาร์ก	วิธีทางเคมี และวิธี เอนไซม์	เส้นเลือดค้ำที่ ขา หัวใจ	<p>1. แสดงวิธีคำนวณอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตาใน ทางทฤษฎีได้เท่ากับ 0.79 ดังนี้</p> $\text{BAC} = \frac{\text{ปริมาณน้ำในเลือด}}{\text{VHAC}} \times \frac{\text{ปริมาณน้ำในวันลูกนัยน์ตา}}{99} \quad \text{แทนค่า } \frac{78}{99} = 0.79$ <p>2. เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตาของศพจำนวน 27 ราย พบว่า ส่วนใหญ่ (25 ราย) จะมีค่า VHAC สูงกว่า BAC เมื่อหาอัตราส่วน BAC/ VHAC ของตัวอย่างจำนวน 25 รายนี้จะได้</p>

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
							<p>ความสัมพันธ์ BAC = 0.73 VHAC</p> <p>3. ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีวิตวัดทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมีและวิธีเอนไซม์ให้ผลใกล้เคียงกัน</p> <p>4. พบว่าเลือดที่เก็บจากหัวใจมีความเข้มข้นแอลกอฮอล์สูงกว่าในเลือดที่เก็บจากเส้นเลือดดำที่ขา</p> <p>4. ศึกษาความคงตัวของแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตาโดยทดลองเก็บตัวอย่างวันลูกนัยน์ตาจากตาซ้ายทันทีที่เสียชีวิตเพื่อใช้เป็นกลุ่มควบคุม และเก็บจากตาขวาของศพเดียวกัน ณ เวลาต่างๆ กันเป็นกลุ่มทดลอง แล้วนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์พบว่าค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตาจากตาซ้ายไม่แตกต่างจากวันลูกนัยน์ตาจากตาขวา</p> <p>5. วิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในกล้ามเนื้อ พบว่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในกล้ามเนื้อแขนและขา มีค่าใกล้เคียงกัน แต่มีค่าต่ำกว่าในเลือดและวันลูกนัยน์ตา</p>

119015017

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1970 ⁷	174	เลือด วันลูกนัยน์ตา	0.89	สหรัฐอเมริกา	วิธีทางเคมี	เส้นเลือดดำที่ไหล่ (Subclavian vein)	<ol style="list-style-type: none">1. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตา ในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง $\pm 95\%$ CI คือ $BAC = 0.89VHAC (\pm 0.023)$2. ให้ข้อเสนอแนะว่าควรทำการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดควบคู่กับในวันลูกนัยน์ตาทุกครั้ง เนื่องจากอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC ของรายงานการศึกษาที่ผ่านมาส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 0.85 – 0.95 น่าจะสามารถนำมาใช้พยากรณ์ BAC ได้จาก VHAC โดยใช้อัตราส่วนนี้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่ค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดของตัวอย่างใดผิดปกติไป หรือสงสัยว่าอาจมีการปนเปื้อนแอลกอฮอล์จากแหล่งอื่น สามารถใช้ VHAC พยากรณ์ค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเพื่อยืนยันผลได้

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวุ้นลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1980 ⁸	110	เลือด วุ้นลูกนัยน์ตา ปัสสาวะ น้ำดี สมอง น้ำไขสันหลัง	0.95	สหรัฐอเมริกา	วิธี GC (ไม่ระบุวิธี ผิด)	หัวใจ	<ol style="list-style-type: none">ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและในวุ้นลูกนัยน์ตาในรูปสมการถดถอย $\pm 95\%$ CI ดังนี้ $BAC = [(VHAC - 0.029)/0.96] \pm 0.102 g\%$ความสัมพันธ์ระหว่าง BAC กับ VHAC มีค่าสหสัมพันธ์ (r) เท่ากับ 0.92อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีววัตถุอื่นและค่าสหสัมพันธ์เป็นดังนี้ BAC/ VHAC = 0.95 (r = 0.92); BAC/Brain AC = 1.16 (r = 0.91); BAC/ Bile AC = 1.01 (r = 0.92); BAC/CSF AC = 0.88 (r = 0.96); BAC/ UAC = 0.86 (r = 0.88)พบว่าน้ำไขสันหลัง สมอง และวุ้นลูกนัยน์ตาเป็นชีววัตถุที่เหมาะสมที่จะนำมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์มากกว่าปัสสาวะและน้ำดี เพราะมีการกระจายของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อในชีววัตถุอื่นน้อยกว่า

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1981 ⁹	30	เลือด วันลูกนัยน์ตา น้ำดี ไขกระดูก	0.93	สหรัฐอเมริกา	วิธี GC ทั้งแบบฉีดโดยตรงและเทคนิคเฮคสเปซ	ไม่ระบุ	<ol style="list-style-type: none">1. เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีววัตถุทั้งสี่ชนิดด้วยวิธี GC ทั้งแบบฉีด โดยตรงและเทคนิคเฮคสเปซพบว่าให้ผลใกล้เคียงกัน2. อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในชีววัตถุอื่นและค่าสหสัมพันธ์เป็นดังนี้ BAC/ BMAC = 1.26 (r = 0.981); BAC/ VHAC = 0.93 (r = 0.966); BAC/ Bile AC = 1.00 (r = 0.927); BAC/ UAC = 0.82 (r = 0.913) พบว่าไขสันหลัง และวันลูกนัยน์ตาเป็นชีววัตถุที่เหมาะสมที่จะมาวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์มากกว่าปัสสาวะและน้ำดี เพราะมีการกระจายของค่าอัตราส่วนความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อชีววัตถุอื่นน้อยกว่า

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
							<p>3. ให้ข้อเสนอแนะว่าไขกระดูกเป็นชีววัตถุที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้วิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์เนื่องจากเป็นชีววัตถุที่มีเลือดมาเลี้ยงมาก และมีกระดูกหุ้มป้องกันการปนเปื้อน</p> <p>4. เสนอแนะให้ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC เป็น conversion factor เพื่อพยากรณ์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด ด้วยสมการความสัมพันธ์ดังนี้ คือ</p> $BAC = 0.93 \text{ VHAC}$ <p>เมื่อเทียบผลกับการพยากรณ์ด้วยไขกระดูกพบว่า การพยากรณ์ด้วย VHAC ให้ผลดีน้อยกว่าการพยากรณ์ด้วย BMAC เล็กน้อย แต่การวิเคราะห์โดยใช้วันลูกตานี้มีความสะดวกมากกว่า ทั้งวิธีการวิเคราะห์และวิธีการเก็บตัวอย่าง</p>

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1983 ¹⁰	43	เลือด วันลูกนัยน์ตา	0.95	คานาดา	วิธี GC แบบฉีด โดยตรง	เส้นเลือดค้ำที่ ขา หัวใจ	<ol style="list-style-type: none">1. แสดงวิธีคำนวณอัตราส่วนระหว่างแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตาในทางทฤษฎีได้เท่ากับ 0.81 ดังนี้ $\text{BAC} = \frac{\text{ปริมาณน้ำในเลือด}}{\text{ปริมาณน้ำในวันลูกนัยน์ตา}} \times \text{แทนค่า } \frac{80.0}{98.7} = 0.81$2. ค่า BAC และ VHAC มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.90$) แสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการถดถอยดังนี้ $\text{BAC} = 0.76 \text{ VHAC} + 35.7 \text{ mg\%}$3. พบการกระจายของข้อมูลอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC เป็นแบบ bimodal เสนอแนะให้ใช้อัตราส่วน BAC/VHAC แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวน ตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่าง ที่ทำการศึกษา เปรียบเทียบ	อัตราส่วน แอลกอฮอล์ใน เลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ ทำการ ศึกษา	วิธีการ วิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บ ตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
							กลุ่ม 1 เสียชีวิตในช่วงคุกซึม โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC อยู่ในช่วง 0.94-1.37 ได้ความสัมพันธ์ BAC=0.89 VHAC+ 29.7 (r = 0.92) กลุ่ม 2 เสียชีวิตในช่วงขับออก มีค่าอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC อยู่ในช่วง 0.72-0.90 ได้ความสัมพันธ์ BAC = 0.8 VHAC +3.90 (r = 0.98)
1984 ¹¹	43	เลือด วันลูกนัยน์ตา	0.8	คานาดา	วิธี GC แบบ เทคนิค เฮคสเปซ	เส้นเลือด Inferior venacava, innominate vein เส้นเลือดดำที่ ขา	1. อัตราส่วนความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตาได้ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.8 ± 0.4 และมีค่าพิสัยเท่ากับ 0.57 – 1.75 2. ไม่พบการกระจายของข้อมูล BAC/VHAC แบบ bimodal ดังที่ได้รายงานไว้ในปี 1983 ¹⁰ 3. ให้ข้อเสนอแนะว่าถ้าจะนำค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตาไปพยากรณ์ค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ใน

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันถูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
							เลือดเพื่อใช้ในกระบวนการยุติธรรมให้เลือดใช้ค่าที่พยากรณ์แล้วได้ค่าในเลือดต่ำที่สุด เพื่อลดความผิดพลาดจากการพยากรณ์สูงเกินจริง โดยใช้ความสัมพันธ์ $BAC = 0.57 \text{ VHAC}$
1984 ¹²	44	เลือด วันถูกนัยน์ตา ปีสภาวะ น้ำดี	0.77	สหรัฐ อเมริกา	วิธี GC แบบฉีด โดยตรง	ไม่ระบุ	ใช้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม กลุ่ม 1 > 100 mg% n = 44: $BAC = 0.77 \text{ VHAC} \pm (0.34) \dots(1)$ กลุ่ม 2 < 100 mg% n = 13: $BAC = 0.63 \text{ VHAC} \pm (0.32) \dots(2)$ เนื่องจากกลุ่ม 2 มีค่า n ต่ำ ผู้วิจัยจึงแนะนำให้ใช้สูตร (1) ในการพยากรณ์

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษ	จำนวน ตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่าง ที่ทำการศึกษา เปรียบเทียบ	อัตราส่วน แอลกอฮอล์ใน เลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ ทำการ ศึกษา	วิธีการ วิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บ ตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1985 ¹³	75	เลือด วันลูกนัยน์ตา ปีศาจ	0.81	แคนาดา	วิธี GC แบบฉีด โดยตรง	หัวใจ	<ol style="list-style-type: none">1. ไม่พบการกระจายของข้อมูลอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC แบบ bimodal ดังที่ได้รายงานไว้ในปี 1983¹⁰2. ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดกับความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตาในรูปสมการถดถอยเชิงเส้นตรง เป็นดังนี้ BAC = 0.81 VHAC (± 0.16) เมื่อทดสอบการพยากรณ์พบว่า 35% ของข้อมูลที่พยากรณ์ได้อยู่ในช่วง $\pm 10\%$ ของค่าจริง 61% ของข้อมูลที่พยากรณ์ได้สูงเกินจริง (เกินกว่า +10% ของค่าจริง) และ 4% ของข้อมูลที่พยากรณ์ต่ำกว่าความเป็นจริง (ต่ำกว่า -10% ของค่าจริง)

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1989 ¹⁴	35	เลือด วันลูกนัยน์ตา	0.9	สเปน	วิธี GC แบบฉีก โดยตรง	ไม่ระบุ	<ol style="list-style-type: none"> วิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตาของกระต่ายจำนวน 18 ตัว พบว่าค่าอัตราส่วนความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกนัยน์ตา มีค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.90 ± 0.38 และมีค่าพิสัย เท่ากับ 0.41 – 3.71 ส่วนในมนุษย์ 35 ราย ได้ค่าเฉลี่ย \pm ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เท่ากับ 0.91 ± 0.14 และมีค่าพิสัยเท่ากับ 0.72 – 1.20 จากการเก็บตัวอย่างชีววัตถุทั้งสองของกระต่าย ตั้งแต่หน้าที่ที่ 10 ถึง 120 หลังให้อาหารอลทางหลอดเลือดดำ เมื่อวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์พบว่า ค่าอัตราส่วนระหว่าง BAC/VHAC มีการเปลี่ยนแปลงลดลงเรื่อยๆ (จาก 3.71 ลดลงเหลือ 0.41) ซึ่งอธิบายได้ว่าในช่วงนาที่แรกๆ การแพร่ของแอลกอฮอล์เข้าวันลูกนัยน์ตายังมีน้อยอยู่และแพร่มากขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มมากขึ้น มีผลให้ค่าอัตราส่วนนี้ลดลงตามระยะเวลาที่ผ่านไป

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1990 ¹⁵	205	เลือด วันลูกนัยน์ตา	0.85	สหรัฐอเมริกา	วิธี GC แบบ เทคนิค เฮคสเปซ	ไม่ระบุ	<ol style="list-style-type: none">อัตราส่วนระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกนัยน์ตามีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.85 มีค่าพิสัยเท่ากับ 0.75 – 1.10ศึกษาการเกิดแอลกอฮอล์ขึ้นเองหลังเสียชีวิตโดยพิจารณาจากค่าความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดและในวันลูกนัยน์ตา พบว่า ในตัวอย่างเลือดที่ได้ผลบวกแอลกอฮอล์ (>10 mg%) ถ้า BAC ≤ 30 mg% พบว่า 83 % จะได้ผลลบจากการตรวจแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตา ถ้า BAC > 50 mg% พบว่า 99 % จะได้ผลบวกจากการตรวจแอลกอฮอล์ในวันลูกนัยน์ตา

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษ	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษ	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1990 ¹⁶	86	เลือด วันลูกนัยน์ตา ปีสสาวะ	0.8	ฮ่องกง	วิธี GC (ไม่ระบุวิธี นิด)	ไม่ระบุ	<ol style="list-style-type: none">พบว่าค่า BAC และ VHAC มีความสัมพันธ์กันสูง ($r = 0.98$) และได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการถดถอยดังนี้ $BAC = 0.76 VHAC + 4.7 \text{ mg\%}$ใช้อัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC = 1.2$ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม 1 เสียชีวิตในช่วงการดูซึมระยะต้น มีค่าอัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC < 1.20$ ได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการถดถอยดังนี้ $BAC = 1.09 VHAC$ กลุ่ม 2 เสียชีวิตในช่วงหลังการดูซึม มีค่าอัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC \geq 1.20$ ได้ความสัมพันธ์ในรูปสมการถดถอยดังนี้ $BAC = 0.80 VHAC$

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวันลูกตา	ประเทศที่ทำการการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
1993 ¹⁷	200	เลือควุ้นลูกนัยน์ตา	-	สิงคโปร์	วิธี GC แบบเทคนิคเฮคสเปซ	เส้นเลือดค้ำที่ขา ถ้าไม่มีเก็บจากเส้นเลือดค้ำที่ใหญ่	<ol style="list-style-type: none">ใช้อัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC = 1.2$ แบ่งข้อมูลออกเป็น 2 กลุ่ม¹⁶ กลุ่ม 1 เสียชีวิตในช่วงการดูซึมระยะต้น โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC < 1.20$ ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้ $BAC = 1.29$ VHAC กลุ่ม 2 เสียชีวิตในช่วงหลังการดูซึม โดยมีค่าอัตราส่วนระหว่าง $UAC/BAC \geq 1.20$ ได้ความสัมพันธ์ ดังนี้ $BAC = 0.89$ VHACผู้วิจัยเสนอให้แยกกลุ่มตัวอย่างโดยพิจารณาจากการสูญเสียเลือดทางบาดแผล โดยแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกได้สองกลุ่ม คือกลุ่มที่ไม่มีบาดแผลและกลุ่มที่มีบาดแผล แล้วใช้อัตราส่วนระหว่าง UAC/BAC แบ่งข้อมูลย่อยอีกครั้ง<ol style="list-style-type: none">กลุ่มที่ไม่มีบาดแผลหนักขาด

(ต่อ)

ปีที่ทำการศึกษา	จำนวนตัวอย่าง (n)	ชนิดตัวอย่างที่ทำการศึกษาเปรียบเทียบ	อัตราส่วนแอลกอฮอล์ในเลือดต่อวุ้นลูกตา	ประเทศที่ทำการศึกษา	วิธีการวิเคราะห์	ตำแหน่งที่เก็บตัวอย่างเลือด	ผลการวิจัยโดยสรุป
							1.1 UAC/BAC < 1.2 จะได้ BAC = 1.21 VHAC 1.2 UAC/BAC ≥ 1.2 จะได้ BAC = 0.84 VHAC 2) กลุ่มที่มีบาดแผลฉีกขาด 2.1 UAC/BAC < 1.2 จะได้ BAC = 1.34 VHAC 2.2 UAC/BAC ≥ 1.2 จะได้ BAC = 0.94 VHAC
1994 ¹⁸	345	เลือดวุ้นลูกนัยน์ตา	0.85	สหราชอาณาจักร	วิธี GC แบบเทคนิคเฮคสเปซ	เส้นเลือดดำที่ขา	ได้ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดกับในวุ้นลูกนัยน์ตา ในรูปสมการถดถอย ± 95% CI ดังนี้ $BAC = 3.03 + 0.852VHAC \pm 0.019\sqrt{17157272 + (VHAC - 189.7)^2}$ mg%

หมายเหตุ BAC = blood alcohol concentration BMAC = bone marrow alcohol concentration
VHAC = vitreous humor alcohol concentration Bile AC = bile alcohol concentration
UAC = urine alcohol concentration Brain AC = brain alcohol concentration
r = correlation coefficient CSF AC = cerebrospinal fluid alcohol concentration
95% CI = 95% confidence interval

แอลกอฮอล์กับอุบัติเหตุจราจรทางบก

เนื่องจากแอลกอฮอล์เป็นสารที่ออกฤทธิ์กดระบบประสาทส่วนกลาง เมื่อได้รับเข้าสู่ร่างกายจะมีผลให้การทำงานของประสานกันระหว่างสมองและกล้ามเนื้อผิดปกติ ความผิดปกติจะมากขึ้นตามความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดที่สูงขึ้น การขับขีรถยนต์ภายหลังจากดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุจราจร มีผู้ทำการวิจัยและรวบรวมผลของแอลกอฮอล์ต่อร่างกาย พฤติกรรมและความสามารถในการขับขี่ไว้ดังแสดงในตารางที่ 6

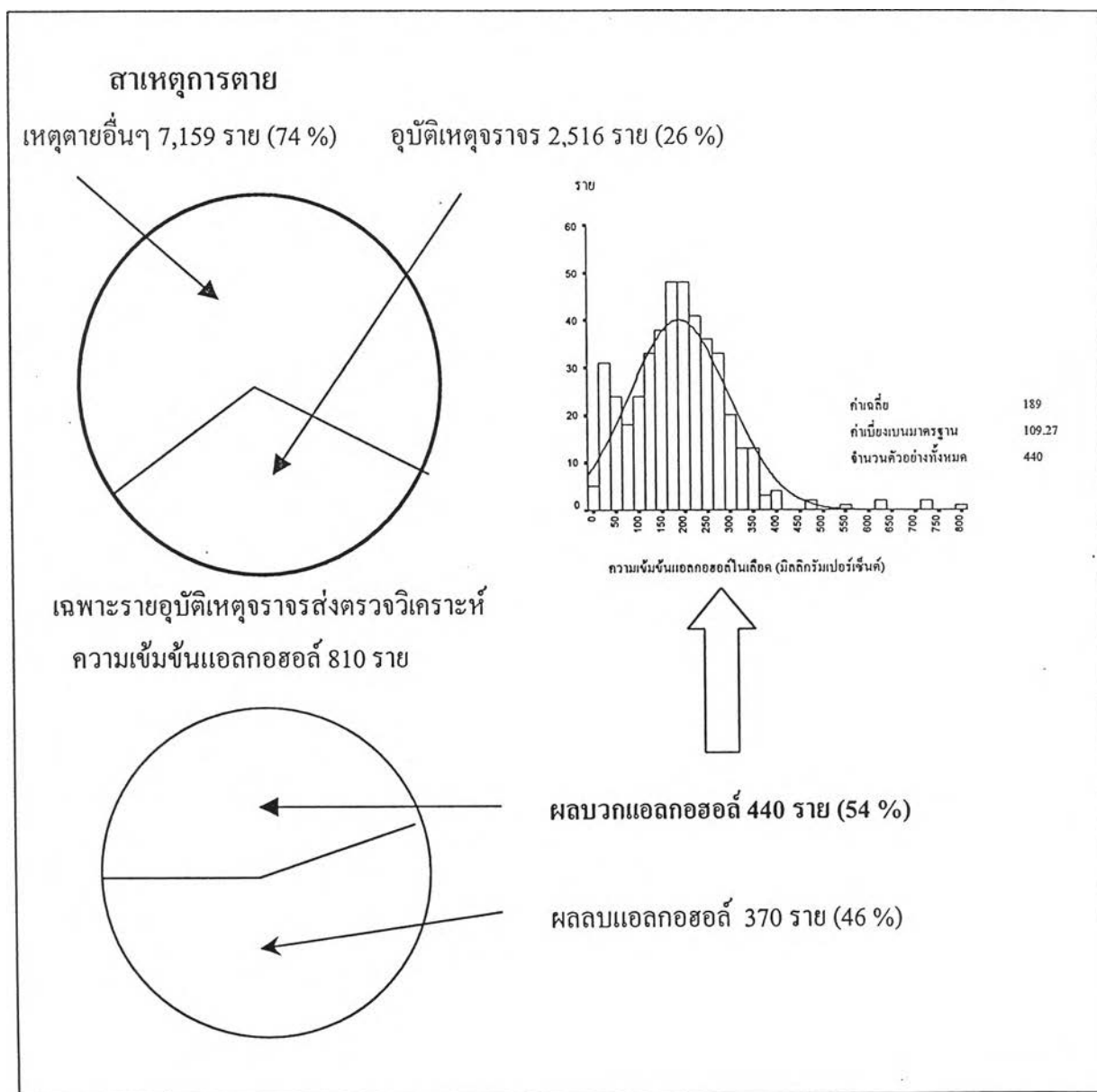
ตารางที่ 6 ผลของแอลกอฮอล์ต่อร่างกาย พฤติกรรมและความสามารถในการขับขีรถยนต์^{69,70}

ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)	ผลต่อร่างกายและพฤติกรรม	ผลต่อความสามารถในการขับขีรถยนต์
20	ยังไม่พบการเปลี่ยนแปลง อาจมีอาการตื่นเต้นกว่าปกติบ้างเล็กน้อย	มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านอารมณ์ในขณะขับขี่ง่ายกว่าปกติ
50	มีความรู้สึกอ่อนคลายทางอารมณ์ รู้สึกสงบระงับ การประสานงานระหว่างประสาทและกล้ามเนื้อลดลง ระยะเวลาในการตอบสนองยาวขึ้น การตัดสินใจช้าลง	ผู้ขับขี่มีการตัดสินใจ และปฏิบัติหน้าที่ลง เวลาในการตอบสนองยาวขึ้น ความสามารถในการขับรถลดลงโดยเฉลี่ย 8 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นระดับที่นักวิจัยทั่วไปยอมรับว่าการขับรถจะเป็นอันตรายต่อผู้ใช้ถนน
80	มีความเสื่อมในด้านประสาทและกล้ามเนื้อมากขึ้นเป็นลำดับ สายตาเลวลง	ความสามารถในการขับรถลดลงโดยเฉลี่ย 12 เปอร์เซ็นต์
100	การเคลื่อนไหวลำบาก กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกันการตัดสินใจตลอดจนความจำเสื่อมลงอย่างเห็นได้ชัด	มีความลำบากในการบังคับยานพาหนะ ความสามารถในการขับรถลดลงโดยเฉลี่ย 15 เปอร์เซ็นต์

ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ ในเลือด (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)	ผลต่อร่างกายและและพฤติกรรม	ผลต่อความสามารถในการขับชี่รยยนต์
150	สภาพของจิตใจและการปฏิบัติหน้าที่ ของร่างกายเสียไปเป็นส่วนใหญ่ ขาดความรับผิดชอบในการกระทำ ต่างๆ เกิดความสุขทางอารมณ์ (euphoria) มีอุปสรรคในการขึ้น เดิน และพูด	มีความผิดปกติในการตัดสินใจ ขับรถผิด ๆ พลาด ๆ ความสามารถใน การขับรถลดลงเฉลี่ย 33 เปอร์เซ็นต์
200	กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน เดินโซเซ จิตใจสับสน อารมณ์ รุนแรง ตาลาย เวียนศีรษะ หน้ามืด พูดอ้อแอ้	ความสามารถในการขับรถลดลงเป็น ลำดับเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้น แอลกอฮอล์ในเลือด
300	งง ไม่รู้เรื่อง ร่างกายทำงานไม่ ประสานกัน อาจสลบ	ถ้ายังขับรถได้ ก็ะขับไปได้โดย อัตโนมัติ แต่ไม่มีสติเป็นอันตราย มาก
400	ส่วนมากถึงตาย	ไม่สามารถขับรถได้

สถาบันนิติเวชวิทยาได้ทำการศึกษาเพื่อหาความเข้มข้นแอลกอฮอล์ต่ำสุดในเลือดของคนไทยที่จะเริ่มเกิดการเปลี่ยนแปลงของภาวะประสาท ⁷¹ พบว่าที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเท่ากับ 60 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงความไวในการตอบสนอง(reaction time) และที่ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด 90 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เริ่มมีการเปลี่ยนแปลงทางภาวะประสาทที่เกี่ยวข้องกับความละเอียดของการใช้มือ ความชำนาญและทักษะการใช้มือในการควบคุมเครื่องจักรยนต์ลดลง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้แปรตามความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดที่เพิ่มขึ้น

จากสถิติ การตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดของสถาบันนิติเวชวิทยา สำนักงานตำรวจแห่งชาติ ประจำปี 2541 (รูปที่ 11) พบว่าอุบัติเหตุจราจรเป็นสาเหตุการตายผิดธรรมชาติอย่างหนึ่งที่พบมากถึงหนึ่งในสี่ของเหตุตายทั้งหมด (กล่าวคือ เสียชีวิตจากอุบัติเหตุจราจรจำนวน 2,516 รายจากจำนวนทั้งสิ้น 9,675 ราย คิดเป็น 26 เปอร์เซ็นต์ของเหตุตายทั้งหมด) และเมื่อพิจารณาเฉพาะรายที่ส่งตรวจวิเคราะห์ความเข้มข้นแอลกอฮอล์จำนวน 810 ราย พบว่ามีถึง 440 ราย (คิดเป็น 54 เปอร์เซ็นต์ของทั้งหมด) ตรวจพบแอลกอฮอล์ในเลือดตั้งแต่ 10 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ขึ้นไป ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้เสียชีวิตส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 150 - 250 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เฉลี่ย 189 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงให้เห็นว่า การเกิดอุบัติเหตุจราจรมีความสัมพันธ์กับการดื่มแอลกอฮอล์โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.760 (n = 810)



รูปที่ 11 แสดงสถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุจราจร การส่งตรวจวิเคราะห์แอลกอฮอล์และผลการตรวจความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือด ประจำปี 2541 ของสถาบันนิติเวชวิทยา

ข้อมูลการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างแอลกอฮอล์กับอุบัติเหตุจราจรทางบกในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ.2524-2540 ได้สรุปไว้ในตารางที่ 7 ส่วนใหญ่ทำในจังหวัดที่มีปัญหาการจราจรมากเช่นกรุงเทพฯและ เชียงใหม่ พบว่าผลการศึกษาสอดคล้องกับสถิติของสถาบันนิติเวชที่ทำการสำรวจในปี 2541 และผลการวิจัย ในต่างประเทศ^{79,80,81} ก็การศึกษาตรวจพบแอลกอฮอล์ในเลือดมีความสัมพันธ์กับการเกิดอุบัติเหตุจราจรทางบก และความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดที่พบว่าเกิดอุบัติเหตุสูงมักอยู่ในช่วง 150 - 250 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นช่วงความเข้มข้นที่ทำให้ความสามารถในการขับขี่ลดลงและมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุได้ง่าย ตารางที่ 7 แสดงข้อมูลผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เกี่ยวกับแอลกอฮอล์กับอุบัติเหตุจราจรทางบกในประเทศไทย

ช่วงปีที่เก็บ ตัวอย่าง	กลุ่ม ประชากร	จำนวน ตัวอย่าง	เปอร์เซ็นต์ที่พบ ผลบวกแอลกอฮอล์	ช่วงความเข้มข้นแอลกอฮอล์ ที่พบมากที่สุด (mg%)	ช่วงอายุที่ พบมาก	เอกสาร อ้างอิง
2524-2527	กรุงเทพฯ	253	79	50-150	20-40	72
2528-2532	เชียงใหม่	458	62.23	151-200	21-30	73
2531-2532	กรุงเทพฯ	75	46	> 150	21-30	74
2533	กรุงเทพฯ	404	55.7	151-200	21-30	75
2533	เชียงใหม่	141	55.3	101-200	21-40	76
2530-2535	กรุงเทพฯ	606	90.4	101-200	21-30	77
2539-2540	ฉะเชิงเทรา	209	-	> 80	25-34	78

แอลกอฮอล์กับกฎหมาย

โดยเหตุที่แอลกอฮอล์มักเป็นสาเหตุ ปัจจัยร่วมของการเกิดอุบัติเหตุจากรถทางบก หลายประเทศจึงมีการกำหนดห้ามการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ในขณะที่ขับขี่หรือกำหนดความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดระดับต่ำสุดที่ยอมให้มีได้ขณะทำการขับขี่ในกฎหมาย การกำหนดของแต่ละประเทศจะมีความแตกต่างกันดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 แสดงความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดที่ยอมให้มีได้ในขณะขับขี่รถยนต์ของแต่ละประเทศ

ประเทศ	ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดที่ยอมให้มีได้ในขณะขับขี่รถยนต์ (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์)
คูเวต	0
โปแลนด์	20
บัลแกเรีย	30
นอร์เวย์ เนเธอร์แลนด์ ⁸⁵ ออสเตรเลีย ⁸⁴ เกาหลี ญี่ปุ่น คานาดา ⁸³ ไทย	50
โคลัมเบีย	70
สิงคโปร์ เวียดนาม เดนมาร์ก ลิกเตนสไตน์ อังกฤษ ลักเซมเบิร์ก ฝรั่งเศส ฮังการี สเปน ออสเตรีย โปรตุเกส สวิตเซอร์แลนด์ เยอรมัน สวีเดน ⁸³ และ ฟินแลนด์ ⁸³	80
โรมาเนีย	100
เดนมาร์ก ⁸³	120
อิตาลี	ไม่มีข้อกำหนด การวินิจฉัยว่าเมาสุราขณะขับรถต้องส่งตัวผู้ขับขี่นั้นให้แพทย์ตรวจ และลงความเห็น
สหรัฐอเมริกา	ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดผู้ขับขี่มีค่าแตกต่างกันในหลายๆ มลรัฐ ดังนี้ มี 2 มลรัฐ ผู้ขับขี่มีแอลกอฮอล์ในเลือดได้ไม่เกิน 80 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ 32 มลรัฐ ผู้ขับขี่มีแอลกอฮอล์ในเลือดได้ไม่เกิน 100 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ 1 มลรัฐ ผู้ขับขี่มีแอลกอฮอล์ในเลือดได้ไม่เกิน 120 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ 9 มลรัฐ ผู้ขับขี่มีแอลกอฮอล์ในเลือดได้ไม่เกิน 150 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

ประเทศไทย กำหนดให้ความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ในขณะขับขี่ยานยนต์ถือว่าเมาสุรา ตามพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ.2522 ซึ่งมีบทลงโทษปรับ หรือจำคุกรวมทั้งพักหรือถอนใบอนุญาตขับขี่ การควบคุมการดื่มสุรา มีกำหนดอยู่ในกฎหมายหลายฉบับ ได้แก่

1. พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522
2. พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 และกฎกระทรวง ฉบับที่ 16 (พ.ศ. 2537)
3. พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2542
4. ประกาศกรมการขนส่งทางบก พ.ศ. 2535
5. ประกาศกรมการขนส่งทางบก พ.ศ. 2536

1. พระราชบัญญัติรถยนต์ พ.ศ. 2522 ⁸⁶

หมวด 3 ใบอนุญาตขับรถ

“มาตรา 47 ผู้ขอใบอนุญาตขับรถตามมาตรา 43 (1) (2) (3) (4) (5) หรือ (6) ต้อง

- (1) ได้รับใบอนุญาตขับรถตามมาตรา 43 (1) มาแล้วไม่น้อยกว่าหนึ่งปี
- (2) มีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 46 และ
- (3) ไม่เคยต้องคำพิพากษาถึงที่สุดให้ลงโทษหรือถูกพนักงานเปรียบเทียบตั้งแต่สองครั้งขึ้นไป

สำหรับความผิดเกี่ยวกับการขับรถอย่างใดอย่างหนึ่ง ดังต่อไปนี้ เว้นแต่จะพ้นโทษไม่น้อยกว่าหกเดือนแล้ว

- (ก) ฝ่าฝืนสัญญาณจราจรหรือเครื่องหมายจราจร
- (ข) ในขณะเมาสุราหรือของเมาอย่างอื่น
- (ค) ในลักษณะกีดขวางการจราจร
- (ง) ใช้ความเร็วเกินอัตราที่กฎหมายกำหนด
- (จ) โดยประมาทหรือน่าหวาดเสียวอันอาจเกิด
- (ฉ) โดยไม่คำนึงถึงความปลอดภัยหรือความเดือดร้อนของผู้อื่น”

“มาตรา 49 ผู้ขอใบอนุญาตขับรถตามมาตรา 43 (4) หรือ (5) ต้อง

- (1) ได้รับใบอนุญาตขับรถตามมาตรา 43 (1) มาแล้วไม่น้อยกว่าหนึ่งปี
- (2) มีคุณสมบัติและไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 46 เว้นแต่ต้องมีอายุไม่ต่ำกว่ายี่สิบห้าปีบริบูรณ์
- (3) ไม่มีลักษณะต้องห้ามตามมาตรา 47 (3)
- (4) มีสัญชาติไทย
- (5) รู้จักถนนและทางหลวงในจังหวัดที่ขอรับใบอนุญาตขับรถพอสมควร
- (6) ไม่เป็นผู้มีโรคติดต่อที่น่ารังเกียจตามที่กำหนดในกฎกระทรวง
- (7) ไม่เป็นผู้ติดสุรา ยาเมา หรือยาเสพติดให้โทษ
- (8) ไม่เคยเป็นผู้รับโทษจำคุกโดยคำพิพากษาถึงที่สุดให้จำคุกในความผิดตาม

พระราชบัญญัตินี้ หรือความคิดเกี่ยวกับความสงบสุขของประชาชน ความคิดเกี่ยวกับการก่อให้เกิดอันตรายต่อประชาชน ความคิดเกี่ยวกับเงินตรา ความคิดเกี่ยวกับเพศ ความคิดต่อชีวิต ความคิดต่อร่างกาย ความคิดต่อเสรีภาพ ความคิดฐานลัทธิทรัพย์สินและวิงวาททรัพย์สิน ความคิดฐานกรรโชก ริดเอาทรัพย์สิน ชิงทรัพย์สินและปล้นทรัพย์สิน ความคิดฐานยกยอก ความคิดฐานลักของโจร และความคิดฐานทำให้เสียทรัพย์สินตามประมวลกฎหมายอาญา หรือโดยคำสั่งที่ชอบด้วยกฎหมายให้จำคุก เว้นแต่เป็นโทษสำหรับความคิดที่ได้กระทำโดยประมาทหรือความผิดลหุโทษ หรือพ้นโทษมาแล้วไม่น้อยกว่าสามปี”

2. พระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 ⁸⁷

“มาตรา 43 ห้ามมิให้ผู้ขับขี่รถ

- (1) ในขณะที่อ่อนความสามารถในอันที่จะขับ
- (2) ในขณะที่เมาสุราหรือของเมาอย่างอื่น
- (3) ในลักษณะกีดขวางการจราจร
- (4) โดยประมาทหรือน่าหวาดเสียวอันอาจเกิดอันตรายแก่บุคคลหรือทรัพย์สิน
- (5) ในลักษณะที่ผิดปกติวิสัยของการขับรถตามธรรมดา หรือ ไม่อาจแลเห็นทางข้างหน้า หรือด้านหลัง ด้านใดด้านหนึ่งหรือทั้งสองด้านได้พอแก่ความปลอดภัย
- (6) คร่อมหรือทับเส้นหรือแนวแบ่งช่องเดินรถ เว้นแต่เมื่อเปลี่ยนช่องเดินรถเลี้ยวรถ หรือ กลับรถ
- (7) บนทางเท้าโดยไม่มีเหตุอันสมควร เว้นแต่รถลากเข็นสำหรับทารก คนป่วยหรือคนพิการ
- (8) โดยไม่คำนึงถึงความปลอดภัยหรือความเดือดร้อนของผู้อื่น”

“มาตรา 142 เจ้าพนักงานจราจรหรือพนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจสั่งให้ผู้ขับขี่หยุดรถในเมื่อ

- (1) รถนั้นมีสภาพไม่ถูกต้องตามที่บัญญัติไว้ในมาตรา 6
- (2) เห็นว่าผู้ขับขี่หรือบุคคลใดในรถนั้นได้ฝ่าฝืนหรือไม่ปฏิบัติตามบทแห่งพระราชบัญญัตินี้ หรือกฎหมายอันเกี่ยวกับรถนั้น ๆ

ในกรณีที่เจ้าพนักงานจราจร พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าผู้ขับขี่ฝ่าฝืนมาตรา 43 (1) หรือ (2) ให้เจ้าพนักงาน พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่สั่งให้มีการทดสอบผู้ขับขี่ดังกล่าวว่าอ่อนความสามารถในอันที่จะขับหรือเมาสุราหรือของเมาอย่างอื่นหรือไม่

การทดสอบตามมาตรานี้ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวง”

กฎกระทรวง ฉบับที่ 16 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522³

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 5 แห่งพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 จึงแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติจราจรทางบก (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2535 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยออกกฎกระทรวงไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1. การทดสอบผู้ขับขี่ว่าเมาสุราหรือไม่ ให้ตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่โดยใช้วิธีการตามลำดับ ดังต่อไปนี้

(1) การตรวจวัดลมหายใจด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจหรือทดสอบ ให้ใช้เครื่องตรวจวัดความเข้มข้นแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ (Breath analyzer test) และอ่านค่าของแอลกอฮอล์ในเลือดเป็นมิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

วิธีการตรวจหรือทดสอบ ให้ปฏิบัติตามวิธีการตรวจสอบของเครื่องตรวจแต่ละชนิด

(2) ตรวจวัดจากปัสสาวะ

(3) ตรวจวัดจากเลือด

การตรวจวัดตาม (2) หรือ (3) ให้ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบตาม (1) ได้เท่านั้น

ข้อ 2. กรณีที่ต้องทดสอบโดยวิธีตรวจวัดจากเลือดตามข้อ 1 (3) ให้ส่งตัวผู้ขับขี่ไปยังโรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุด และทำการเจาะเลือดภายใต้การกำกับดูแลของผู้ประกอบวิชาชีพเวชกรรมตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเวชกรรม

ข้อ 3. ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเมาสุรา

(1) กรณีตรวจวัดจากเลือดเกิน 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

(2) กรณีตรวจวัดจากลมหายใจหรือปัสสาวะ ให้เทียบปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเป็นเกณฑ์มาตรฐานดังนี้

(ก) กรณีตรวจวัดจากลมหายใจ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าเท่ากับ 2000

(ข) กรณีตรวจวัดจากปัสสาวะ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าเท่ากับ เศษ 1 ส่วน 1.3

ให้ไว้ ณ วันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2537

พลเอก ชวลิต ยงใจยุทธ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย

3. พระราชบัญญัติจรรยาบรรณ พ.ศ. 2542⁸⁸

“มาตรา 6 ให้ยกเลิกความในวรรคสองและวรรคสามของมาตรา 142 แห่งพระราชบัญญัติจรรยาบรรณ พ.ศ. 2522 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติจรรยาบรรณ (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2535 และให้ใช้ข้อความต่อไปนี้แทน

“ในกรณีที่เจ้าพนักงานจรรยาบรรณ พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าผู้ขับขี่ฝ่าฝืน มาตรา 43 (1) หรือ (2) ให้เจ้าพนักงาน พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่สั่งให้มีการทดสอบผู้ขับขี่ ดังกล่าวว่าย่นความสามารถในอันที่จะขับหรือเมาสุราหรือของเมาอย่างอื่นหรือไม่

ในกรณีที่ผู้ขับขี่ตามวรรคสองไม่ยอมให้ทดสอบ ให้เจ้าพนักงานจรรยาบรรณ พนักงานสอบสวน หรือพนักงานเจ้าหน้าที่มีอำนาจกักตัวผู้นั้นไว้ดำเนินการทดสอบได้ภายในระยะเวลาเท่าที่จำเป็นแห่งกรณีเพื่อ ให้การทดสอบเสร็จสิ้นไปโดยเร็ว และเมื่อผู้นั้นยอมให้ทดสอบแล้ว หากผลการทดสอบปรากฏว่าไม่ได้ฝ่าฝืน มาตรา 43 (1) หรือ (2) ก็ให้ปล่อยตัวไปทันที

การทดสอบตามมาตรานี้ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และวิธีการที่กำหนดในกฎกระทรวง ”

4. ประกาศกรมการขนส่งทางบก พ.ศ. 2535⁸⁹ ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522

เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุราหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจํารถในขณะปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ ลงวันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2535

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 102 ทวิ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2535 อธิบดีกรมการขนส่งทางบก ออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุราหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจํารถในขณะปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1. ในประกาศนี้

"การตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุรา" หมายความว่า การตรวจหรือทดสอบหาระดับหรือปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด

"...ข้อ 3. วิธีการตรวจหรือทดสอบหาระดับหรือปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดให้ถือปฏิบัติดังนี้

- (1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจหรือทดสอบ ให้ใช้เครื่องตรวจระดับแอลกอฮอล์ ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจ (Breathalyzer) และสามารถอ่านค่าของแอลกอฮอล์ในเลือดเป็น มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์
- (2) วิธีการตรวจหรือทดสอบ ให้ถือปฏิบัติตามวิธีการตรวจสอบของเครื่องตรวจแต่ละชนิด
- (3) ระดับเกณฑ์มาตรฐานของแอลกอฮอล์ที่ยอมให้มีในเลือดในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถ ต้องไม่เกิน 80 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อตรวจสอบตามวิธีการในข้อ 3 (2) แล้วอ่านค่าของแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 80 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ถือว่าผู้รับการตรวจเป็นผู้เสพสุรา...."

5. ประกาศกรมการขนส่งทางบก พ.ศ. 2536⁹⁰ ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522

เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุราหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ (ฉบับที่ 2) ลงวันที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2536

ตามที่ได้มีประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุราหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ ประกาศ ณ วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2535 ไว้แล้วนั้น

เนื่องจากกรมการขนส่งทางบก กระทรวงคมนาคม และกรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้ประชุมพิจารณาเกี่ยวกับการกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบอันเกิดจากการเสพสุรา หรือวัตถุออกฤทธิ์ต่อจิตประสาทแล้ว มีความเห็นเป็นที่ยุติว่า สมควรแก้ไขปรับปรุงในรายละเอียดดังกล่าวให้ครบถ้วนถูกต้องและเหมาะสมมากยิ่งขึ้น ประกอบกับคณะกรรมการคมนาคม สภาผู้แทนราษฎร ได้มีมติให้ถือปริมาณแอลกอฮอล์ 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ เป็นเกณฑ์ในการตรวจสอบแอลกอฮอล์ในร่างกายของผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่ ฉะนั้น เพื่อให้การกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบ และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบเป็นไปโดยถูกต้องเหมาะสม และเป็นไปตามมติคณะกรรมการคมนาคม สภาผู้แทนราษฎร และเพื่อให้การดำเนินการดัง

กล่าวเป็นไปโดยมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 102 ทวิ วรรคสอง แห่งพระราชบัญญัติขนส่งทางบก (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2535 อธิบดีกรมการขนส่งทางบกออกประกาศกำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุรา หรือวัตถุออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ ไว้ดังต่อไปนี้

ข้อ 1 ให้ยกเลิกความในข้อ 3 แห่งประกาศกรมการขนส่งทางบก เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์และวิธีการตรวจหรือทดสอบสารอันเกิดจากการเสพสุราหรือวัตถุที่ออกฤทธิ์ต่อจิตและประสาท และกำหนดเจ้าพนักงานผู้มีอำนาจตรวจหรือทดสอบหรือสั่งให้ผู้ได้รับใบอนุญาตปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่รับการตรวจหรือทดสอบว่ามีสารนั้นอยู่ในร่างกายหรือไม่ ประกาศ ณ วันที่ 17 สิงหาคม พ.ศ. 2535 และให้ใช้ข้อความต่อไปนี้แทน

"ข้อ 3. วิธีการตรวจหรือทดสอบหาระดับหรือปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดให้ถือปฏิบัติดังนี้

- (1) เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจหรือทดสอบ ให้ใช้เครื่องตรวจระดับแอลกอฮอล์ ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจ (Breathalyzer) และสามารถอ่านค่าของแอลกอฮอล์ในเลือดเป็น มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์
- (2) วิธีการตรวจหรือทดสอบ ให้ถือปฏิบัติตามวิธีการตรวจสอบของเครื่องตรวจแต่ละชนิด
- (3) ระดับเกณฑ์มาตรฐานของแอลกอฮอล์ที่ยอมให้มีในเลือดในขณะที่ปฏิบัติหน้าที่เป็นผู้ประจำรถ ต้องไม่เกิน 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ดังนั้น เมื่อตรวจสอบตามวิธีการในข้อ 3 (2) แล้วอ่านค่าของแอลกอฮอล์ในเลือดเกินกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ ถือว่าผู้รับการตรวจเป็นผู้เสพสุรา...."