บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้รวบรวมวรรณคดี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับระบบไหลเวียนโลหิตและการทดสอบสมรรถภาพการทำงานของระบบไหลโลหิต ซึ่งมีผู้ทำการศึกษามาแล้ว โดยแยกออกได้ดังต่อไปนี้

1. วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง
2. เอกสารและงานวิจัยภายในประเทศ
3. เอกสารและงานวิจัยในต่างประเทศ

1. วรรณคดีที่เกี่ยวข้อง

ระบบไหลเวียนโลหิตกับการออกกำลัง

ระบบไหลเวียนโลหิตซึ่งประกอบด้วย หัวใจ หลอดโลหิตและโลหิต หน้าที่สำคัญของระบบนี้ก็คือ การขนส่งอาหาร ออกซิเจนและสารต่าง ๆ ไปยังเซลล์ทุกส่วนของร่างกาย (จรวยพร ธรณินทร์, 2525)

ความสำคัญของหัวใจ

หัวใจห้องบนเป็นโครงสร้างที่สำคัญยิ่งของหัวใจ ทำหน้าที่เป็นแหล่งพักของโลหิตที่ไหลจากหลอดโลหิตดำก่อนเข้าสู่หัวใจห้องล่าง โลหิตจากหลอดโลหิตดำจะไหลเข้าสู่หัวใจตลอดเวลา แต่หัวใจห้องล่างจะรับโลหิตเฉพาะขณะคลายตัว ขณะบีบตัวลิ้นหัวใจจะกั้นมิให้โลหิตดำไหลกลับเข้าสู่หัวใจห้องล่าง ในช่วงนี้โลหิตจะถูกกักในหัวใจห้องบน เมื่อลิ้นเปิดโลหิตจากหัวใจห้องบนจะไหลเข้าสู่หัวใจห้องล่างได้อย่างรวดเร็ว หัวใจห้องบนบีบตัวหัวใจห้องล่างจะได้รับโลหิตเร็วขึ้นและอาจมากขึ้นซึ่งมีความสำคัญต่อการทำงานของหัวใจ (ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)

เสียงของหัวใจ

เสียงของหัวใจเกิดจากลิ้นหัวใจปิดและเปิด โดยมากจะมี 2 เสียง แต่บางคนอาจมีเสียงที่สาม หรือเสียงพึมพำด้วย(ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)

เสียงที่หนึ่ง (First Heart Sound) จะเกิดขึ้นจากการเริ่มต้นของการหดตัวของหัวใจห้องล่าง (Ventricular Systole) เสียงเกิดจาก มิตราล วาล์ว (Mistral Valve) และ ไตรกัสปิด (Tricuspid) ส่วน แอออร์ติก วาล์ว (Aortic Valve) และ พูโมนารี (Pulmonary) เปิด เสียงของการสั่นสะเทือนของหัวใจห้องล่างและเสียงของโลหิตที่ถูกสูบออกไป เสียงดัง ตุ๊บ (Lub)

เสียงที่สอง (Second Heart Sound) เกิดขึ้นเมื่อสิ้นสุดการหดตัวของหัวใจห้องล่าง เป็นเสียงของ แอออร์ติก วาล์ว (Aortic Valve) และ พูโมนารี (Pumonary) ปิดเสียง มิตราล วาล์ว (Mitral Valve) และไตรกัสปิด(Tricuspid) เปิด และเสียงสั่นของโลหิตและหัวใจห้องล่างเสียงดังคล้าย ตั๊บ (Dub) จะได้ยินเสียงที่หนึ่งและสองเมื่อเอาหูแนบฟังที่หัวใจ

เสียงที่สาม (Third Heart Sound) เกิดขึ้นในขณะที่โลหิตไหลเข้าสู่หัวใจห้องล่างและการสั่นสะเทือนของผนังห้องล่าง เสียงที่สามต้องใช้เครื่องมือหูฟัง (Stethoscope) จึงได้ยินเสียงพึมพำ (Murmurs) เกิดจากเสียงการเดินทางของโลหิตเกิดเสียงเบาคล้ายเสียงบ่น

การควบคุมหัวใจ

การควบคุมหัวใจขึ้นอยู่กับปัจจัย 3 ประการ ดังนี้ (ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)

1) การควบคุมหัวใจโดยระบบประสาทเสรี คือ เส้นประสาทเวกัล (Vagal) เป็นระบบประสาทเสรี ผลคือ ทำให้หัวใจเต้นช้าลงโดยระบบประสาทพาราซิมพาเทติค เช่น ขณะนอนหลับ อารมณ์เศร้าหมอง เส้นประสาทมีผลทำให้หัวใจเต้นเร็วและแรงคือระบบประสาทซิมพาเทติค ผลทำให้หัวใจเต้นแรงและเร็วขึ้น เช่น ขณะออกกำลังกาย ตื่นเต้นและตกใจ เป็นต้น

2) การควบคุมหัวใจ โดยการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่วนประกอบของโลหิตที่มีผลต่อการทำงานของหัวใจ สารโพแตสเซียม โซเดียม และแคลเซียมในพลาสมา หากความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง การทำงานของหัวใจจะเปลี่ยนแปลงไป นั่นคือความเข้มข้นของโพแตสเซียม และโซเดียมมากขึ้น ทำให้หัวใจเต้นอ่อนแรงลง หดตัวลดลง ความเข้มข้นของแคลเซียมน้อยลงทำให้หัวใจเต้นอ่อนลง

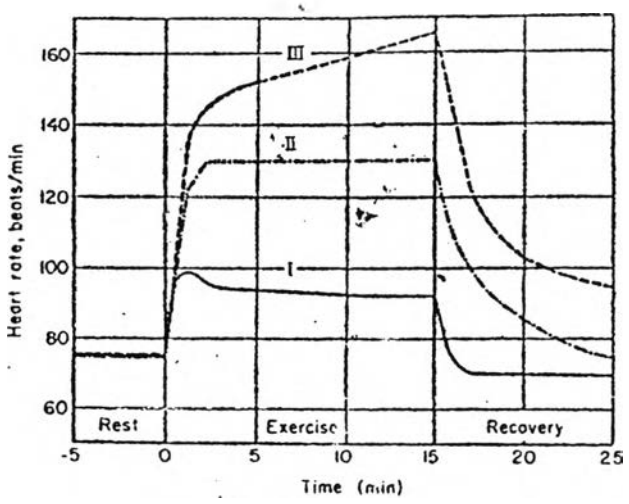
3) การควบคุมหัวใจ โดยปฏิกิริยาย้อนกลับ ในกระแสโลหิตมีเซลล์รับรู้การเปลี่ยนแปลงทางเคมีของโลหิต คือ "Presso Receptors" ซึ่งอยู่ 2 แห่ง คือ "Aortic Sinus" ตั้งอยู่ส่วนโค้งของหลอดโลหิตแดง "Aortic" และ "Carotid Sinus" ตั้งอยู่ที่หลอดโลหิตแดง "Common Carotid" เมื่อมีความดันของโลหิตแดงสูงขึ้น จะไปกระตุ้น "Presso Receptors" นี้บังคับให้หัว

ใจเต้นช้าลง และแรงหดตัวของหัวใจลดลงเป็นผลให้ปริมาตรโลหิตที่ออกจากหัวใจลดลง ทำให้เกิดปฏิกิริยาย้อนกลับน้อยลง (Negative Feedback) ความดันโลหิตลดลงทำให้หัวใจเต้นแรงขึ้น

สำหรับปฏิกิริยา "Bainbridge" เกิดขึ้นเมื่อมีโลหิตการไหลกลับสู่หัวใจมาก หัวใจเต้นแรง เช่น ในขณะออกกำลังกาย ตกใจ ตื่นเต้น เมื่อโลหิตกลับเข้าสู่หัวใจมาก หัวใจจะเต้นเร็ว

อัตราการเต้นของหัวใจ

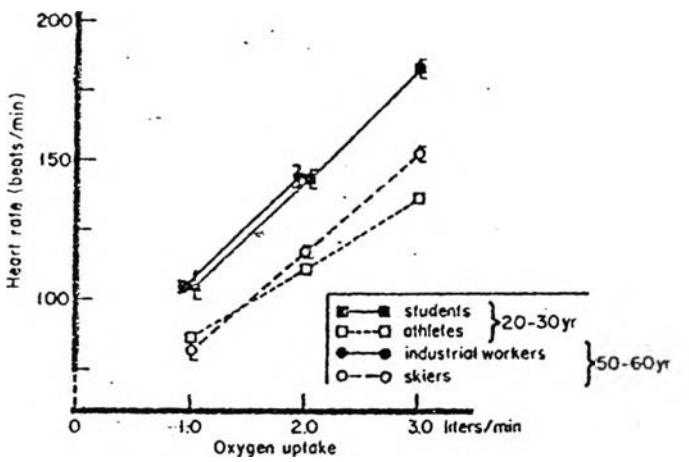
อัตราการเต้นของหัวใจปกติในขณะพักในผู้ใหญ่มีค่าเฉลี่ยประมาณ 72 ครั้งต่อนาที (ชาย) ผู้หญิงเร็วกว่าประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ของอัตราการเต้นของผู้ชาย แต่ค่าปกติของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักเปลี่ยนแปลงได้มาก จึงเป็นการยากที่จะตัดสินว่าอัตราการเต้นของหัวใจปกติหรือไม่ แต่อย่างไรก็ดี ตามข้อตกลงของสมาคมโรคหัวใจแห่งสหรัฐอเมริกาได้ใช้ค่าปกติ 50– 100 ครั้งต่อนาที คนปกติส่วนมากมีอัตราการเต้นของหัวใจต่ำหรือสูงกว่านี้ผิดปกติ ทั้งนี้ต้องพิจารณาเป็นราย ๆ ไป เมื่อออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเกือบทันที และจะยังเพิ่มอยู่เช่นนี้ตลอดระยะการออกกำลังกาย การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจในระยะต้นเกิดจากกลไกทางระบบประสาทที่ส่งมาควบคุมโดยตรง ในระยะต่อมาส่วนใหญ่เกิดจากกลไกทางรีเฟล็กที่เนื่องจากผลผลิตของการออกกำลังกายมากระตุ้น การเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจแสดงได้ชัดเจนดังรูป



รูปที่ 2 เส้นโค้งของอัตราการเต้นของหัวที่เพิ่มขึ้น เมื่อออกกำลังกายในระดับต่าง ๆ กันคือ 1) ออกกำลังกายอย่างเบา 2) ออกกำลังกายปานกลาง 3) ออกกำลังกายอย่างหนัก

แหล่งที่มา : ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524

จากรูปจะเห็นว่าในขณะออกกำลังกายอย่างเบา อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นทันทีแต่ไม่มาก แต่ต่อมาจะลดลงเล็กน้อย และคงอยู่ด้วยอัตรานั้นตลอดระยะของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้วอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ เข้าสู่ระดับปกติใช้เวลาเพียง 1-2 นาทีเท่านั้น การออกกำลังกายปานกลางอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นโดยรวดเร็วเช่นกัน มีอัตราประมาณ 120 – 140 ครั้งต่อนาที อัตราการเต้นของหัวใจนี้ขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกายด้วย อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นนี้จะคงอยู่ด้วยด้วยอัตราค่อนข้างคงที่ตลอดระยะที่ออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ กลับสู่สภาพปกติ แต่ใช้เวลามากกว่าพวกแรก อาจใช้เวลานานกว่าสิบนาที อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นในขณะออกกำลังกายปานกลางนี้ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับการใช้พลังงานของร่างกาย ดังรูป



รูปที่ 3 เส้นโค้งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจกับการจับออกซิเจน (Oxygen Uptake) ที่อายุต่างกัน
แหล่งที่มา : ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524

ฉะนั้นในปฏิบัติเมื่อต้องการทราบอัตราการใช้พลังงานของร่างกายในการออกกำลังกายจะสามารถทราบได้โดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจเพียงอย่างเดียว การออกกำลังกายอย่างหนัก อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นสู่ระดับสูงโดยทันที แล้วหลังจากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ตลอดระยะของการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายอัตราการเต้นของหัวใจจะค่อย ๆ ลดลงเช่นกัน แต่ใช้ระยะพักฟื้นยาวนานกว่า 2 พวกแรก ในการออกกำลังกายชนิดนี้ร่างกายสามารถทำได้เพียงระยะสั้น เพราะเมื่อทำต่อไปจะทำไม่ไหว (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524)

อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

เมื่อออกกำลังกายอย่างหนักอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก จนถึงระดับหนึ่งที่เรียกว่า อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum Heart Rate) ในคนปกติที่อยู่ในวัยหนุ่มสาว อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดสามารถเพิ่มขึ้นถึง 200 ครั้งต่อนาทีได้ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขึ้นอยู่กับอายุและสภาพของการฝึก เมื่ออายุ 20 ปีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดประมาณ 200 ครั้งต่อนาที และจะค่อย ๆ ลดลงเมื่ออายุมากขึ้นถึง 70 ปีจะมีอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดประมาณ 155 ครั้งต่อนาทีเท่านั้น (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524)

ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัว

ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้งในคนปกติมีค่าประมาณ 60– 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของร่างกายด้วย ในผู้หญิงมีค่าน้อยกว่า 25 เปอร์เซ็นต์ ในขณะเปลี่ยนจากท่าผักผ่อนมาออกกำลังกายในท่านั่งหรือยืน ทำให้ปริมาตรเลือดดำที่ส่งกลับเข้าหัวใจ (Venous Return) มากขึ้น ทำให้จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และจะถึงระดับหนึ่งซึ่งจะคงที่อยู่นาน 5 – 10 นาที แต่ถ้าออกกำลังเป็นเวลานานหลายชั่วโมง ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวก็จะลดลง ได้เคยมีรายงานว่าเมื่อออกกำลังกายไปนาน 1 ชั่วโมง เปรียบเทียบกับการออกกำลังกายภายใน 2 – 3 นาทีแรกแล้ว ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวลดลง 16 เปอร์เซ็นต์ แม้ในขณะที่ทำงานเพียงปานกลาง ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวก็จะลดลงหลังจากเริ่มงานเพียงระยะเวลา 2 – 3 นาทีแต่ปริมาตรเลือดที่ส่งออกจากหัวใจต่อนาทีจะยังคงไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้น กลไกที่ให้จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวลดลงเมื่อออกกำลังกายไปนาน ๆ ยังไม่เป็นที่เข้าใจกันดี อาจเกี่ยวข้องกับการลดลงของปริมาณเลือดไหลเวียนในร่างกายหรือการกระจายของเลือดเปลี่ยนไปเมื่อปริมาณของเลือดส่วนกลางลดลง

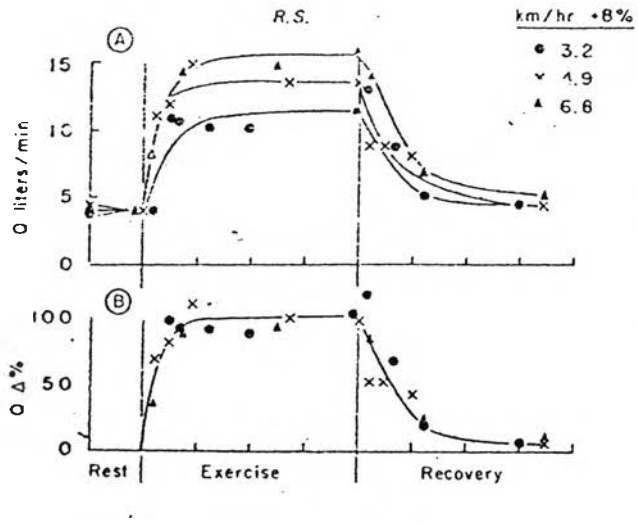
ปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวจะมีค่าสูงสุด เมื่อออกกำลังกายเพียงถึงระดับที่ร่างกายจับออกซิเจน 30 – 40 เปอร์เซ็นต์ ของระดับการจับออกซิเจนสูงสุด ในท่ายืนปริมาตรเลือดที่หัวใจบีบตัวจะเพิ่มขึ้น 40 – 50 เปอร์เซ็นต์ จากท่าพัก ซึ่งในผู้ชายและผู้หญิงค่านี้จะไม่แตกต่างกัน ถ้าออกกำลังกายในท่านอนจำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย ถึงแม้ว่าจะออกกำลังเต็มที่จนอัตราการเต้นของหัวใจมีค่า 200 ครั้งต่อนาที แต่จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวก็ยังคงมีค่าคงที่อยู่ในระดับสูงสุด

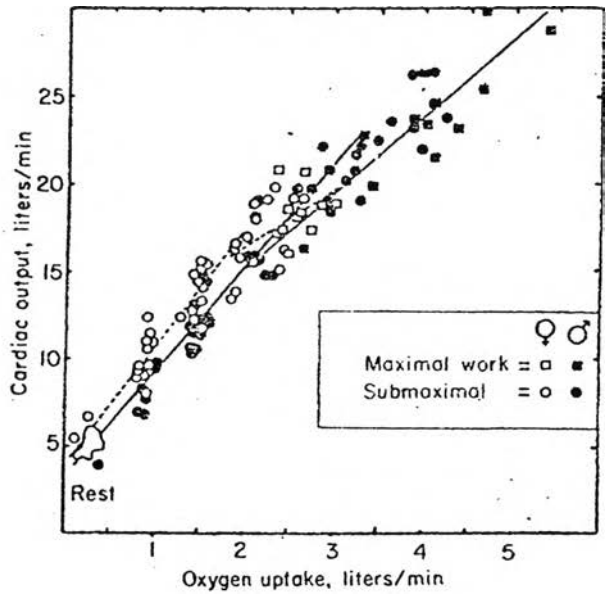
จังหวะการเต้นของหัวใจ (ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)

ออกซิเจนจากปอดถูกขนส่งไปให้ร่างกายมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพของหัวใจในการขนส่งโลหิตด้วย เมื่อพิจารณาจากอัตราการขนส่งออกซิเจนจะลดลง หากปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาแต่ละนาที (Cardiac Output : CO) จะมีค่าเท่าไหร่ขึ้นอยู่กับอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate : HR) ต่อนาที และปริมาตรโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาในแต่ละครั้งของการเต้นของหัวใจ (Stroke Volume : SV) ดังสมการ

$$CO = HR \times SV$$

ในการออกกำลังกายปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาแต่ละนาทีจะเพิ่มขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนักเบาของการออกกำลังกาย ในคนปกติอาจเพิ่มขึ้นได้ถึง 20 ลิตรต่อนาที ในระยะแรกของการออกกำลังกายปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาแต่ละนาทีเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 30 – 60 วินาที หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ เมื่อเข้าสู่ภาวะคงที่จนตลอดระยะการออกกำลังกาย เมื่อหยุดออกกำลังกายแล้วปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาแต่ละนาทีจะค่อย ๆ ลดลงสู่ระดับปกติ (ดังรูปที่ 4) ปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาแต่ละนาที ที่เพิ่มขึ้นจนเข้าภาวะคงที่มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับการจับออกซิเจนของร่างกาย (ดังรูปที่ 5)





รูปที่ 4 Cardiac Output จะค่อย ๆ ลดลงสู่ระดับปกติ

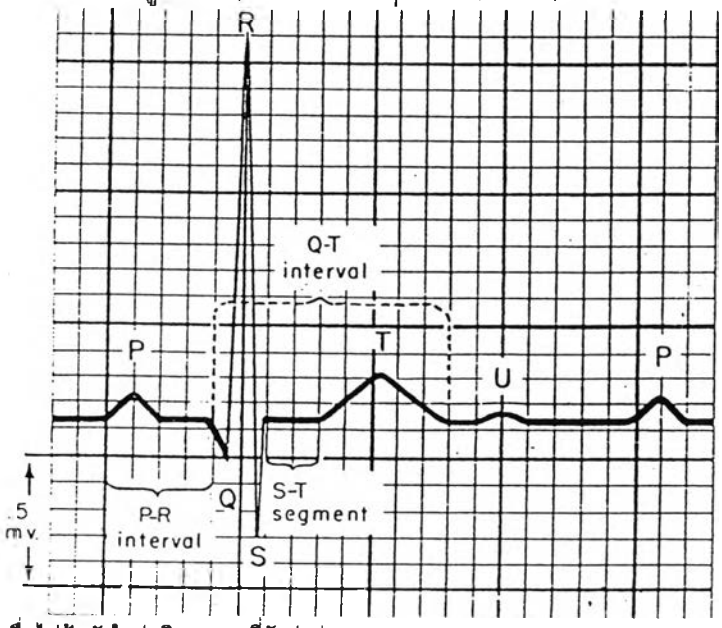
รูปที่ 5 Cardiac Output ที่เพิ่มขึ้นจนเข้าภาวะคงที่มีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับการจับออกซิเจนของร่างกาย

แหล่งที่มา : ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524

การทำงานของหัวใจจะเป็นเช่นไรส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับอัตราการเต้นของหัวใจ หัวใจจะเต้นเป็นจังหวะสม่ำเสมอ ในแต่ละปี หัวใจจะเต้นเป็นจังหวะมากกว่า 40 ล้านครั้ง ร่างกายมีกลุ่มเซลล์ที่ผลิตสัญญาณไฟฟ้าอยู่ในหัวใจเอง เซลล์อัตโนมัติที่สำคัญมีกลุ่มเซลล์ระหว่างรอยต่อของหลอดโลหิตดำและหัวใจห้องบนขวา เรียกว่า ปุ่มเอสเอ (S-A Node) ผลิตสัญญาณไฟฟ้าในรูปของการเปลี่ยนแปลงความต่างศักย์ของเยื่อหุ้มเซลล์ ซึ่งสัญญาณนี้จะกระจายไปทั่วหัวใจห้องบนเพราะกล้ามเนื้อหัวใจช่วยนำกระแสไฟฟ้าผ่านจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์ได้โดยตรง ซึ่งไม่เหมือนกับเส้นประสาท โดยทั่วไปที่ไม่สามารถผลิตสัญญาณไฟฟ้าได้เอง และไม่สามารถถ่ายทอดสัญญาณไฟฟ้าจากเซลล์หนึ่งไปยังอีกเซลล์หนึ่งได้ ต้องอาศัยการเปลี่ยนแปลงสัญญาณไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณเคมีไปกระตุ้นเซลล์ถัด ๆ ไป

สัญญาณไฟฟ้าไม่สามารถผ่านไปยังหัวใจห้องล่างได้โดยตรงเพราะมีพังพืดที่ไม่สามารถส่งสัญญาณไฟฟ้าได้ ดังนั้นระหว่างหัวใจห้องบนและห้องล่างขวาจะมีกลุ่มเซลล์อัตโนมัติอีกกลุ่มเรียกว่า ปุ่มเอวี (A-V Node) จะนำสัญญาณไฟฟ้าจากห้องบนขวา ผ่านลงมาให้กลุ่มเซลล์อัตโนมัติในหัวใจห้องล่างมีกลุ่มฮีส (Bundle of His) อยู่ต่อกับปุ่มเอวี (A-V Node) ซึ่งกลุ่มฮีสแตกแขนงไปยังหัวใจห้องล่างแต่ละข้าง และส่งสัญญาณไปยังกลุ่มเซลล์อัตโนมัติเปอกินจิ (Purkinji) กระจายอยู่ในหัวใจห้องล่าง สัญญาณไฟฟ้าใช้เวลาเดินทางจากแหล่งผลิตที่ปุ่มเอสเอ (S-A Node) กระจายไปกระตุ้นกล้ามเนื้อหัวใจทั้งหมดในเวลาเสี้ยววินาที

นอกจากนี้ยังสามารถวัดการแพร่กระจายสัญญาณไฟฟ้าภายในหัวใจในรูปของความต่างศักย์ เรียกว่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจ (Electrocardiogram) ดังรูปที่ 6 ซึ่งมีประโยชน์ต่อการวินิจฉัยโรคหัวใจบางประเภทได้อย่างถูกต้อง (ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)



รูปที่ 6 แสดงรูปกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ และจุดที่วัดค่าต่าง ๆ

แหล่งที่มา : จรวยพร ธรณินทร์, 2525

อัตราการเต้นของหัวใจขณะและหลังออกกำลังกาย (ถนอมวงศ์ กฤษเพ็ชร์, 2540)

เมื่อออกกำลังกายปริมาตรของโลหิตที่หัวใจสูบออกมาแต่ละนาทีเป็นดรรชนีวัดความสามารถในการเต้นของหัวใจ มักนิยมใช้วัดอัตราการเต้นของหัวใจเพราะทำได้ง่ายกว่า และการเปลี่ยนแปลงเห็นชัดกว่าปริมาตรโลหิตที่หัวใจสูบฉีดออกมาในแต่ละครั้งของการเต้นของหัวใจ (Stroke Volume) เช่น อัตราการเต้นของหัวใจเป็นสัดส่วนตรงกับความหนักของงานสำหรับงานระดับปานกลาง ถ้ามีอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่า แสดงว่าสมรรถภาพทางกายดี เพราะ

1) สมรรถภาพการจับออกซิเจนของหัวใจมากขึ้น เมื่ออัตราการเต้นของหัวใจมากขึ้น

2) เมื่อต้องทำงานเร็วระยะพักของหัวใจสั้นลง

อัตราการเต้นของหัวใจมักใช้ในการวัดสมรรถภาพการทำงานของร่างกายแบบต่าง ๆ เช่น การทดสอบก้าวขึ้นลงกล่อง (Step – Test) และ วิธีจักรยานของออสตรานด์ เป็นต้น

การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกาย

เมื่อออกกำลังกายหรือเล่นกีฬาอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงาน ถ้างานหนัก หมายถึงงานที่ต้องใช้กระบวนการเผาผลาญอาหารมากเป็น 10 เท่าของขณะปกติ อัตราการเต้นของหัวใจจะสูงถึงขีดสูงสุด หรืองานเบาถึงปานกลาง อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยและมีระดับคงที่ได้ และเมื่อหยุดออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจจะลดลงอย่างรวดเร็ว ต่อจากนั้นจะลดลงช้า ๆ จนถึงระดับปกติเป็นการฟื้นตัวของผู้ออกกำลังกายจะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับความหนักเบาของงานและระยะเวลาในการออกกำลังกาย

อัตราการเต้นของหัวใจเปลี่ยนแปลงไปตามสภาวะทางสรีรวิทยา (Physiological Variation of Heart Rate) ดังนี้ (ชูศักดิ์ เวชแพศย์, 2524)

1. อายุ จากการศึกษาพบว่า อายุน้อยหัวใจเต้นเร็ว เมื่ออายุมากขึ้นหัวใจเต้นช้าลง ทารกในครรภ์มารดาเริ่มมีการเต้นของหัวใจในราวสัปดาห์ที่ 4 ด้วยอัตรา 65 ครั้งต่อนาที และเพิ่มมากขึ้นจนถึง 130 – 140 ครั้งต่อนาที เมื่อใกล้คลอด การที่อัตราเต้นหัวใจสูงในทารกเข้าใจว่าเนื่องจากการอิ่มตัวของออกซิเจน (Oxygen Saturation) ต่ำกว่าปกติจากการผสมระหว่างเลือดดำและเลือดแดงโดยผ่านทางลัด (Shunt) ทำให้มีลักษณะคล้ายภาวะเลือดมีออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) ซึ่งมีผลไปยับยั้งศูนย์รั้งหัวใจ (Cardio Inhibitory Center) ในสมอง ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น อัตราเต้นหัวใจลดลงตามอายุที่มากขึ้นเรื่อย ๆ จนกระทั่งเมื่อเข้าสู่วัยชรา อัตราเต้นของหัวใจกลับสูงขึ้นอีกเล็กน้อยด้วยเหตุผลที่ยังไม่ทราบแน่นอน

2. รูปร่างและขนาดของร่างกาย คนที่รูปร่างสูงอัตราเต้นของหัวใจช้ากว่าคนที่รูปร่างเตี้ย คนอ้วนหัวใจเต้นช้ากว่าคนผอม และสัตว์ใหญ่อัตราเต้นของหัวใจช้ากว่าสัตว์เล็ก

3. เพศ เพศหญิงอัตราเต้นหัวใจเร็วกว่าชาย

4. หลังรับประทานอาหาร (After Meal) ภายหลังรับประทานอาหารใหม่ๆ ร่างกายมีเมตาโบลิซึม (Metabolism) สูงขึ้น เพื่อนำพลังงานไปใช้ในการย่อยและการดูดซึมอาหาร (Specific Dynamic Action of Food)

5. ท่าทางของร่างกาย (Posture) ในระหว่างที่เปลี่ยนท่าของร่างกายจากนอนเป็นยืนอย่างรวดเร็ว ระดับความดันเลือดแดงเฉลี่ย (Mean Arterial Pressuer) จะตกลงทันทีเล็กน้อย เนื่องจากมีแรงต้านจากแรงโน้มถ่วงของโลก ทำให้ปริมาณเลือดดำกลับหัวใจ (Venous Return) ลดลง แต่ในเวลาอันรวดเร็ว ร่างกายจะมีการปรับโดยใช้กลไกลชดเชย (Compensation Mechanism) ผ่าปฏิกิริยารีเฟลกซ์ของระบบประสาทซิมพาเทติค โดยภาวะความดันเลือดลด จะไปกระตุ้นตัวรับรู้การเปลี่ยนแปลงความดันเลือดที่ "Carotid Sinus" และ "Aortic Arch" ส่งสัญญาณไปยังศูนย์ควบคุมการทำงานของหลอดเลือดและหัวใจในสมอง (Vasomotor Center) ทำให้มีการตอบสนอง คือ หัวใจเต้นเร็ว แรง และหลอดเลือดตีบตัวเพื่อปรับความดันเลือดให้เข้าสู่ระดับปกติ ซึ่งความดันเลือดกลับเป็นปกติแล้วอัตราเต้นของหัวใจก็ลดลงเท่าเดิมกับเมื่อก่อนมีการปรับตัว

6. ปัจจัยทางอารมณ์ (Emotional Stimuli) ภาวะที่มีการตื่นเต้น ตกใจ จะมีการส่งกระแสประสาท (Impulse) จากสมองส่วน "Higher Center" ไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมการทำงานของหัวใจ ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น หรือภาวะบางอย่าง เช่น ความกลัว โศกเศร้า กระแสประสาท ถูกส่งไปที่ศูนย์รั้งการทำงานของหัวใจ (Cardioinhibitory Center) ทำให้อัตราเต้นหัวใจช้าลง

7. การหายใจ (Respiration) ปกติการหายใจธรรมดา (Quiet Breathing) ในผู้ใหญ่ไม่ค่อยมีผลการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ แต่เมื่อมีการหายใจเข้าลึกๆ หัวใจจะเต้นเร็วในขณะหายใจเข้า และช้าลงในขณะหายใจออก ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า "Sinus Arrhythmias" ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจาก

7.1 เกิด "Hering Breuer Reflex" ขณะหายใจเข้า มีผลไปกระตุ้น "Vagal Stretch Receptor" ที่อยู่ในปอด ส่งกระแสประสาทนำเข้า (Afferent Impulse) ไปตาม "Vagus Nerve" ไปยับยั้งศูนย์รั้งการทำงานของหัวใจ (Cardioinhibitory Center) ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น

7.2 ในขณะเดียวกัน จะมีการกระจายของกระแสประสาท (Irradiation of Impulse) ไป

กระตุ้นที่ "Vasomotor Center" ทำให้หลอดเลือดส่วนปลายตีบตัวเพิ่มเลือดดำกลับหัวใจ ทำให้อัตราเต้นหัวใจเพิ่มขึ้น (ปรากฏการณ์ที่อัตราเต้นหัวใจเพิ่มขึ้น เมื่อ Venous Return เพิ่มนี้ เรียกว่า Bainbridge Reflex)

7.3 ในขณะหายใจเข้า ปริมาตรในช่องอกขยายมากขึ้น ทำให้ความดันในช่องอกลดลง และมีผลให้หลอดเลือดดำในช่องอกขยาย "Venous Return" เพิ่มขึ้น ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นเป็นรีเฟลกซ์

8. การลดลงหรือการกระตุ้นของ "Baroreceptor" เมื่อมีเลือดไหลผ่านบริเวณ "Carotid Sinus" และ "Arotic Arch" ลดลง (ในภาวะความดันเลือดลด) จะไปลดความถี่ของสัญญาณที่ส่งไปยังศูนย์ควบคุมการทำงานของหลอดเลือดและหัวใจในสมอง มีผลกระตุ้นการทำงานของศูนย์นี้ ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นหลอดเลือดตีบตัว เพื่อเพิ่มระดับความดันเลือดให้เป็นปกติดังกล่าวแล้ว ถ้าเป็นกรณีที่มีเลือดไหลผ่านบริเวณตัวรับรู้ทั้งสองนี้มากกว่าปกติ (ภาวะความดันเลือดเพิ่ม) ผลก็จะเกิดตรงข้าม คือ อัตราเต้นหัวใจลดลง หลอดเลือดขยายตัว เพื่อปรับให้ความดันเลือดลดลงสู่ระดับปกติ

9. อุณหภูมิ (Temperature) ถ้าอุณหภูมิร่างกายสูงขึ้น เช่น มีไข้ ทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้น อธิบายว่า การเพิ่มอุณหภูมิทำให้ระยะเวลาในการเพิ่มกระแสไฟฟ้า (Action Potential) ลดลง อัตรากระแสไฟฟ้าจาก "S-A Node" เพิ่มขึ้น จึงทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นด้วย ส่วนการลดต่ำของอุณหภูมิทำให้หัวใจเต้นช้าลง

10. ภาวะออกซิเจนต่ำ (Hypoxia) เช่น ขณะขึ้นไปอยู่บนยอดภูเขาสูง ค่าความดันออกซิเจน (PO_2) ลดลง ร่างกายมีการตอบสนองโดยมีการหายใจเข้าออกมากขึ้น (Increase Ventilation) ทำให้เพิ่มเลือดกลับหัวใจ มีผลทำให้อัตราเต้นหัวใจเพิ่ม และปริมาตรของเลือดที่หัวใจฉีดออกมาแต่ละนาที (Cardiac Output) เพิ่มขึ้นด้วย

11. การออกกำลังกาย (Exercise) ในขณะออกกำลังกาย อัตราเต้นหัวใจจะเพิ่มขึ้นอย่างมาก เนื่องจากกล้ามเนื้อทำงานมากขึ้น ต้องการออกซิเจนไปเลี้ยงเพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันต้องกำจัดของเสียจากการทำงาน เช่น คาร์บอนไดออกไซด์ กรดแล็กติค จึงต้องเพิ่มทั้งการหายใจ (Ventilation) และปริมาณเลือดไปเลี้ยง (Blood Flow) อัตราเต้นของหัวใจที่เพิ่มขึ้นนี้ เป็นสัดส่วนกับความหนักเบาของงาน

12. การกระตุ้นความรู้สึกเจ็บ (Painful Stimuli) ความเจ็บปวดมีผลทำให้หัวใจเต้นเร็วขึ้นหรือช้าลงได้ แต่ส่วนใหญ่มักทำให้อัตราเต้นของหัวใจเพิ่ม

13. การตั้งครรภ์ (Pregnancy) ในหญิงตั้งครรภ์ อัตราเต้นหัวใจจะเพิ่มขึ้นจนกระทั่ง 8 – 12 สัปดาห์ก่อนคลอด เนื่องจากปริมาตรเลือดในร่างกาย (Blood Volume) เพิ่มขึ้น 30-50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้อาจเกี่ยวข้องกับฮอร์โมนที่เกิดในระหว่างตั้งครรภ์

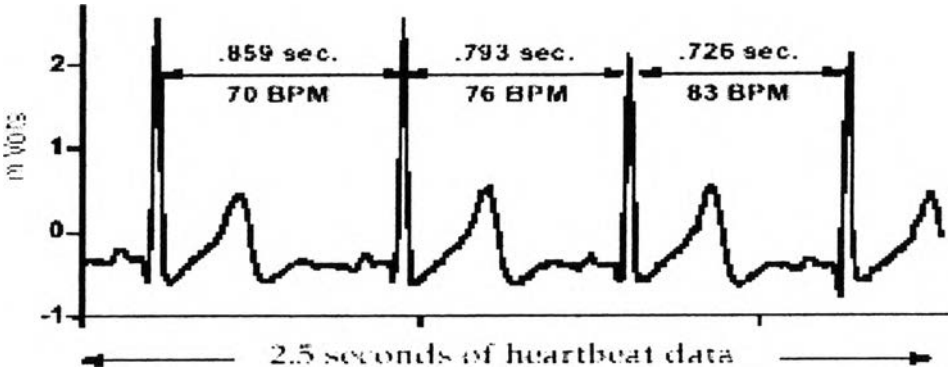
14. การนอนหลับ (Sleeping) ในขณะนอนหลับ การใช้พลังงานของร่างกายน้อย ระยะนี้บทบาทของระบบประสาท "Vagal Tone" จะเด่น "Sympathetic Tone" อัตราเต้นของหัวใจลดลง

15. ผลจากการฝึก (Training) การฝึกทำให้มีการเปลี่ยนแปลงในการทำงานของหัวใจ เช่นในนักกีฬา ผลการฝึกซ้อมโดยสม่ำเสมอ ทำให้หัวใจมีขนาดใหญ่ ระยะคลายตัวนาน "Stroke Volume" มีค่าสูงขึ้น และพบว่าอัตราเต้นหัวใจช้าลง ในการทำงานที่เท่ากันนักกีฬาสามารถทำได้โดยอัตราเต้นหัวใจเพิ่มน้อยกว่าคนที่ไม่เคยออกกำลัง แสดงถึงประสิทธิภาพของการทำงานของหัวใจสูงกว่า

นอกจากนี้ อัตราหัวใจถูกเปลี่ยนแปลงได้โดยบทบาทของฮอร์โมนหลายตัว ได้แก่ "Epinephrine, Norepinephrine" และ "Thyroid Hormone" ภาวะที่มีการเพิ่มของ "Epinephrine" และ "Norepinephrine" ได้แก่ ระบบประสาทซิมพาเทติค ถูกกระตุ้น หรือภาวะที่มีความผิดปกติจากเนื้องอกของต่อมหมวกไตชั้นใน (Adrenal Medulla) ฮอร์โมนสองตัวนี้มีฤทธิ์ต่อหัวใจโดยตรงให้ทำงานเพิ่มขึ้น อัตราเต้นของหัวใจจึงเพิ่มขึ้น ส่วน "Thyroid Hormone" ทำให้อัตราเต้นหัวใจเพิ่มเช่นเดียวกัน โดยมีผลทำให้การใช้พลังงานของเซลล์เพิ่มขึ้น

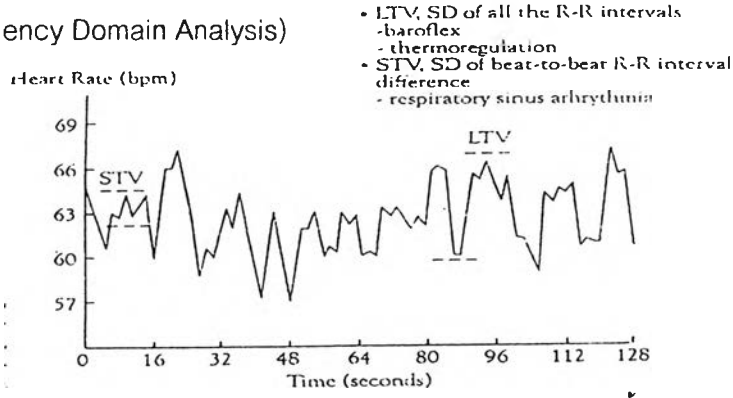
ความแปรผันอัตราการเต้นของหัวใจ (Rollin McCraty, 1996)

ความแปรผันอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Variability : HRV) คือ จำนวนอัตราการเต้นของหัวใจที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา เป็นค่าเฉลี่ยจากการเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละช่วง ซึ่งการเปลี่ยนแปลงนี้เป็นผลมาจากปฏิกิริยาการทำงานอย่างต่อเนื่องระหว่างระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของหัวใจ การทำงานของอวัยวะต่าง ๆ ภายในร่างกาย และอิทธิพลของสภาพแวดล้อมภายนอก ค่าเอชอาร์วี (HRV) เป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงกลไกการทำงานของหัวใจในสภาวะคงที่ การทำงานระบบไหลเวียนโลหิตมีอิทธิพลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจมีสภาพคงที่ รวมไปถึงอิทธิภายนอกอื่น ๆ ที่มีผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ

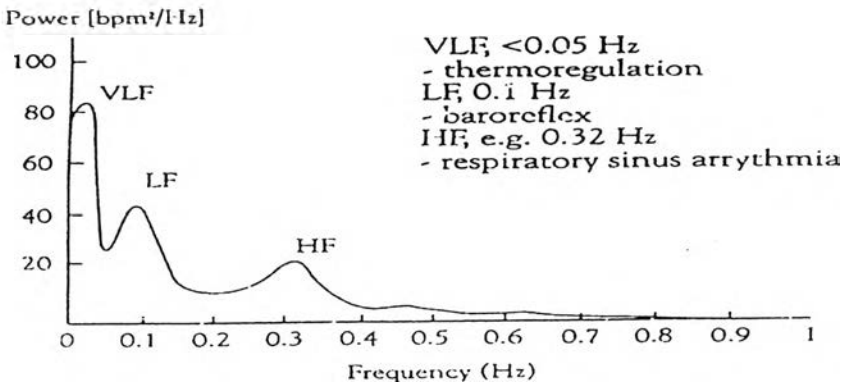


รูปที่ 7 แสดงค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Variability)
แหล่งที่มา : Rollin McCraty, 1996

ค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ (HRV) ได้มาจากการวัดคลื่นไฟฟ้าจากหัวใจ (ECG) โดยบันทึกแบบ "R – R Interval" ซึ่งจะมีค่าตรงกันข้ามกับอัตราการเต้นของหัวใจ คือ ถ้าอัตราการเต้นของหัวใจต่ำ ค่า "R - R Interval" จะมีค่าสูง ซึ่ง "HRV" ยังแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 แบบ คือ แบบขึ้นกับเวลา (Time Domain Analysis) และแบบขึ้นกับความถี่ (Frequency Domain Analysis)



รูปที่ 8 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ (HRV) **แบบขึ้นกับเวลา** (Time domain analysis)
แหล่งที่มา : ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ, 2546



รูปที่ 9 แสดงการวิเคราะห์ค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ (HRV) **แบบขึ้นกับความถี่** (Frequency domain analysis)
แหล่งที่มา : ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ, 2546

ค่า "HRV" ที่วิเคราะห์ตามความถี่ สามารถบันทึกได้ทั้งแบบตลอดวัน (Long Term) ใน 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์ ส่วนแบบ (Short Term) จะใช้เวลาในการบันทึกเพียง 5 นาที ในคนทั่วไป สามารถวิเคราะห์ได้ผลดังนี้

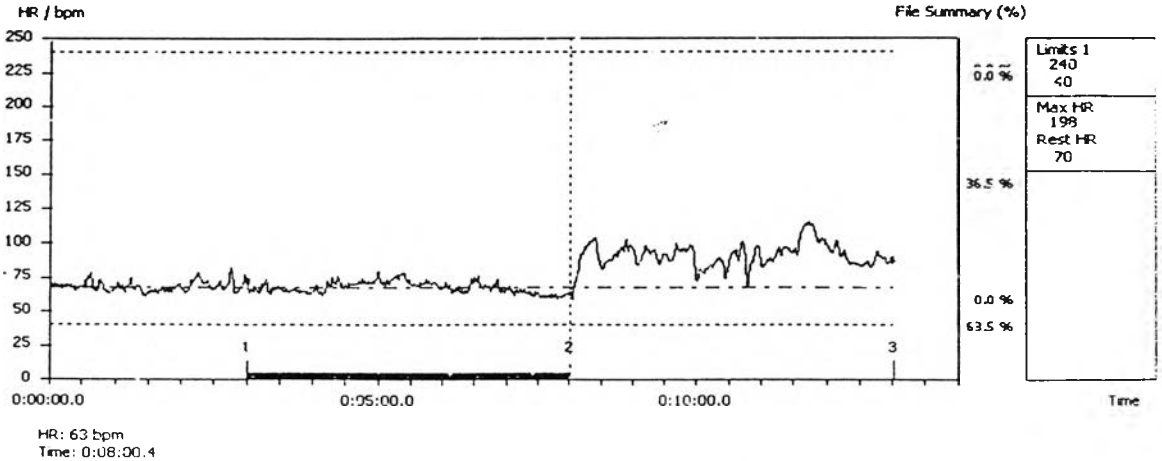
1. 5 Minute Total Power มีความถี่ประมาณ 0.4 Hz
2. VLF (Very Low Frequency) มีค่าความถี่น้อยกว่า 0.04 Hz
3. LF (Low Frequency) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05 – 0.15 Hz
4. HF (High Frequency) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.16 – 0.40 Hz
5. LF / HF Ratio

ค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ทั้งสองแบบ จะบอกถึง การตอบสนองของความสมดุลในการควบคุมระบบประสาทอัตโนมัติ เช่น ในการเปลี่ยนแปลงของ

1. "Barorefeflex" แสดงค่าโดย ค่า LF
2. "Respiratory Sinus Arrhythmia" แสดงค่าโดย ค่า HF
3. "Thermoregulation" แสดงค่าโดย ค่า VLF

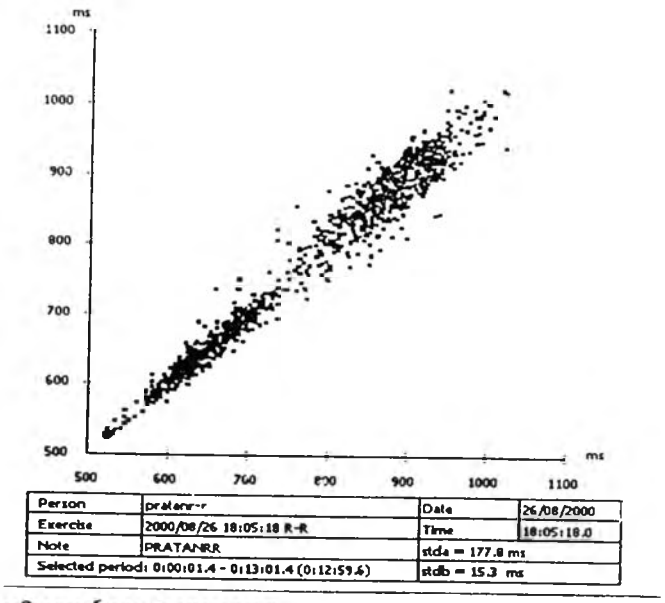
"HRV" วิเคราะห์แบบขึ้นกับเวลา (Time Domain Analysis)

นักกีฬาที่มีความสมบูรณ์ของร่างกายดีขึ้นนั้น จะพบว่า ขณะพักอัตราการเต้นของหัวใจจะต่ำลง ความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ (HRV , SDb) มากขึ้น การวิเคราะห์ "HRV" ในแบบ "Time Domain Analysis" นี้ สามารถนำค่ามาสร้างเป็นรูปกราฟ (Scatterogram) ดังเช่นการทดสอบ "Orthostatic Test" เพื่อทราบสภาวการณ์ฝึกซ้อมเกินหรือไม่ โดยให้นักกีฬานอน และบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจแบบ "R – R Interval" 5 นาที (จากตำแหน่งที่ 1 - 2) และลุกขึ้นยืน 5 นาที (จาก 2 - 3) ดังรูป



รูปที่ 10 แสดงการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจแบบ R – R Interval 5 นาที และลุกขึ้นยืน 5 นาที

แหล่งที่มา : ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ, 2546



รูปที่ 11 กราฟแสดงการวิเคราะห์แบบ Scatterogram

แหล่งที่มา : ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ, 2546

โดยกราฟ จะแสดงค่าออกมาเป็น การเปลี่ยนแปลงในแนวแกน 45 องศา (Standard Deviation,stda หรือ std1) และในแนวตั้งฉากกับแกนเดิม เรียก "Stdb" ซึ่งค่า "Stdb" จะแสดงถึงความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ นอกจากนั้นค่า "Stdb" (std2) จะเป็นหนึ่งตัวแปรหลักที่ใช้ติดตามนักกีฬาดูการเปลี่ยนแปลงของสภาวะผ่อนคลายของร่างกาย ซึ่งจะมีค่าปกติอยู่ระหว่าง 10 – 100 ms

อย่างไรก็ตาม ในขณะออกกำลังกาย ค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจจากการวิเคราะห์แบบใช้เวลานั้น จะมีค่าค่อย ๆ ลดลง และเข้าใกล้หรือเท่ากับศูนย์ เมื่อระบบประสาทซิมพาเทติคทำงานเหนือกว่าระบบประสาทพาราซิมพาเทติค

"HRV" ที่วิเคราะห์ตามความถี่ (Frequency Domain Analysis)

ค่า "Power Spectrum of HRV" ขณะพัก ในนักกีฬาวิ่งระยะไกล จะมีค่า "LF" ต่ำกว่าคนปกติ และมี "HF" สูงกว่าคนปกติ ดังนั้นค่า "LF / HF" ในนักกีฬาจะต่ำกว่าอย่างเห็นได้ชัด ซึ่งจะพบค่าดังกล่าวคล้ายกันในขณะยืนและออกกำลังกาย รวมถึงหลังการออกกำลังกายในนาทีที่ 5,10 และ 15 ทั้งนี้การตอบสนองของค่า "HRV" ในขณะพักและออกกำลังกายในนักกีฬายกน้ำหนัก ซึ่งมีการฝึกกล้ามเนื้อเป็นหลัก จะมีค่าแตกต่างจากนักวิ่งระยะไกล โดยกลุ่มนักวิ่งระยะไกล จะมีการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติค ที่ควบคุมการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นในขณะพักมากกว่ากลุ่มนักกีฬาที่ฝึกกล้ามเนื้อ (ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ, 2546)

การนำค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจมาประยุกต์ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพหัวใจ

วิธีการทดสอบสมรรถภาพเพื่อที่ดูความสามารถการทำงานของแต่ละบุคคลนั้นที่มีใช้มาตั้งแต่ดั้งเดิมนั้น มักจะมีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ วิธีการทดสอบบางอย่างต้องทำในเฉพาะห้องที่ใช้ทดสอบหรือในสนามกีฬาเท่านั้น ข้อจำกัดนี้เองทำให้มีการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบสมรรถภาพร่างกายที่มีความทันสมัย สะดวก สามารถทำการทดสอบได้ทุกที่ทุกเวลา เครื่องมือที่กล่าวถึงนั่นก็คือ เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate Monitor) เป็นเครื่องมือที่ดัดแปลงมาจากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มีความสามารถการทำงานเทียบเท่ากับเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ สามารถบอกอัตราการเต้นของหัวใจ ด้วยวิธีการที่ไม่ซับซ้อน นอกจากจะบอกอัตราการเต้นของหัวใจแล้ว เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจยังมีความสามารถในการทดสอบสมรรถภาพของหัวใจ (Ownindex) โดยที่ผู้ทดสอบสามารถวัดได้ในขณะพัก วิธีการก็คือผู้ทดสอบจะต้องให้ข้อมูลเกี่ยวกับ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูงและระดับกิจกรรมการออกกำลังกาย ลงในเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะที่ทำการทดสอบเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจจะบันทึกข้อมูลของอัตราการเต้นของหัวใจและค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจของผู้ทดสอบ แล้วนำค่าตัวแปรทั้งหมดมาคำนวณโดยใช้เทคนิคที่เรียกว่า การวิเคราะห์แบบโครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network)

การวิเคราะห์แบบโครงสร้างเซลล์ประสาท

การวิเคราะห์แบบโครงสร้างเซลล์ประสาท(Artificial Neural Network)หรือมีชื่อเรียกสั้น ๆ ว่า "เอเอ็นเอ็น" (ANN) การทำงานหลาย ๆ อย่างที่ดูเหมือนว่าง่ายของคน เช่น การอ่านลายมือของคนหรือการจดจำคนได้นั้น เป็นสิ่งที่ยากมากแม้แต่สำหรับคอมพิวเตอร์ที่มีเทคโนโลยีที่เจริญก้าวหน้า ในการที่จะเพิ่มความสามารถในการทำงานของคอมพิวเตอร์ หลาย ๆ คนทำโปรแกรม (Programmers) เริ่มที่จะสร้าง "Software" ที่ทำงานเหมือนกับสมองคนด้วย เซลล์ประสาทและจุดเชื่อมประสาท (Synapse) จึงเป็นสาเหตุที่ทำให้แผนกของ "Artificial Neural Network" เกิดขึ้นมาแทนที่จะใช้วิธีเดิม ๆ ที่ใช้ ซีพียู 1 ตัว ที่จะให้ค่าครั้งละ 1 ตัว แต่ "Neural Networks Software" สามารถวิเคราะห์ข้อมูลโดยการเลียนแบบการผ่านข้อมูลไปใน "ซีพียู" โดยการเชื่อมกันเหมือนน้ำหนักความสำคัญของจุดเชื่อมประสาท (Synapse) อย่างไรก็ตามการทำโปรแกรมและการคำนวณเบื้องหลังของเทคโนโลยีของโครงสร้างเซลล์ประสาทนั้นมีความซับซ้อน แต่การใช้ "Neural Networks Software" นั้นง่ายและผลลัพธ์นั้นให้ผลดีอย่างไม่น่าเชื่อ เมื่อเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องการวิเคราะห์ระบบการทำงานจะผ่านข้อมูลทั้งหมดและเรียนรู้กับข้อมูลที่

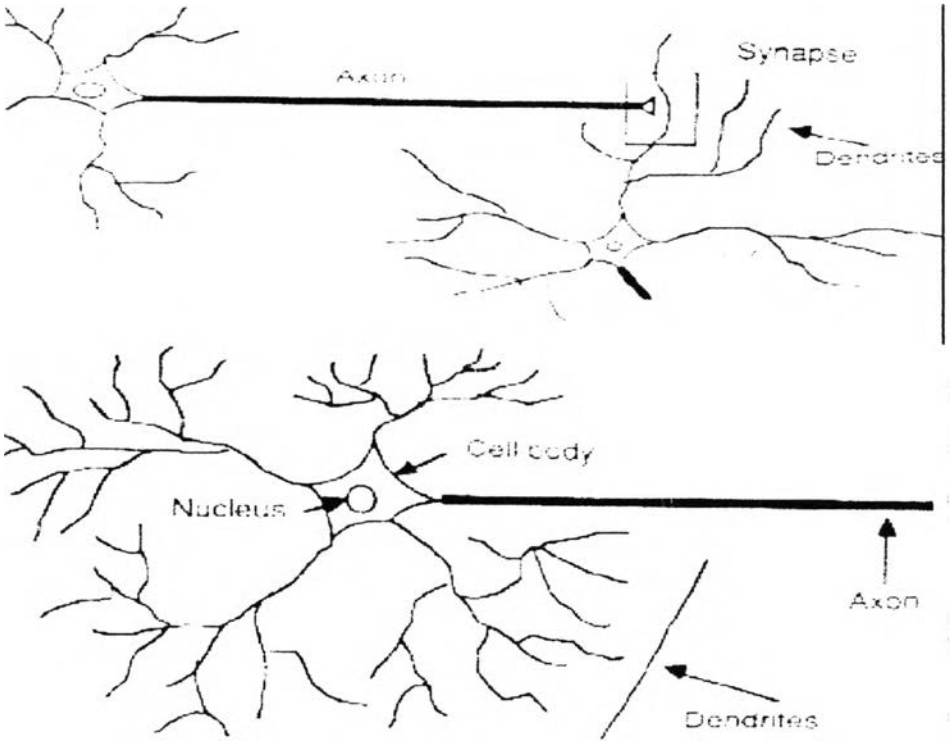
ป้อนเข้าไป (Input) ของแต่ละการบันทึกว่าอาจจะมีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์อย่างไร ตัวอย่างเช่น ถ้าการบันทึกเป็นของคนไข้ในโรงพยาบาล การบันทึกของข้อมูลที่ป้อนเข้าไป (Input) เช่น อายุ, เพศ, อ้วน,ภูมิแพ้,ความดันโลหิต และ มีความสัมพันธ์กับผลลัพธ์ (Output) (เช่น ยาจะมีผลต่อคนไข้นี้หรือไม่) นั้นถูกป้อนเข้า (Input) ไปในเซลล์ประสาท (Neurons) ของโครงสร้างการทำงานนั้นจะทำการขัดเกลาข้อมูลในตัวมันจนกระทั่งมันสามารถที่จะให้ผลที่แม่นยำเมื่อเราใส่ข้อมูลเข้าไป หลังจากการฝึกฝนหลายๆ กรณีศึกษา ระบบเครือข่ายการทำงานจะเริ่มสร้างระบบของตัวมันเอง และขัดเกลาโครงสร้างเพื่อที่จะให้เหมาะสมกับข้อมูล คล้ายๆ กับสมองของมนุษย์ที่เรียนรู้จากตัวอย่าง ในกรณีที่ข้อมูลเป็นแบบแผนหรือในกรณีที่มีความสัมพันธ์อย่างสอดคล้องกันระหว่างสิ่งที่ป้อนเข้าไป (Input) กับผลลัพธ์ (Output) ของแต่ละการบันทึก ระบบเครือข่ายการทำงานจะสามารถที่จะคิดจำลองแผนผังของความสำคัญที่จะให้ผลลัพธ์อย่างที่คาดหวังไว้

โครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network) จัดการกับข้อมูลในวิธีคล้ายกับสมองของมนุษย์ โครงสร้างประกอบด้วยระบบของส่วนประกอบสำคัญ ของเซลล์ประสาท (Neurons) หลายๆ เซลล์ที่เชื่อมต่อกัน การทำงานเป็นไปในทิศทางเดียวกันเพื่อที่จะแก้ไขปัญหา โครงสร้างเซลล์ประสาทมีการเรียนรู้ด้วยตัวอย่าง ไม่สามารถที่จะถูกโปรแกรมให้ทำงานที่เฉพาะเจาะจงและตัวอย่างจะต้องมีการถูกเลือกอย่างระมัดระวัง ถ้าไม่เช่นนั้นโครงสร้างจะไม่ทำงานได้อย่างถูกต้องการทำงานของโครงสร้างเซลล์ประสาทในคอมพิวเตอร์นั้นไม่ได้ทำงานแข่งขันกันแต่ช่วยเสริมซึ่งกันและกันให้สมบูรณ์

โครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network) ถือว่าเป็นโครงสร้างที่มีความสามารถที่จะรับความหมายจากข้อมูลที่ซับซ้อนและไม่แม่นยำ ให้มาเป็นแบบแผนและพบแนวโน้มที่ซับซ้อนมากเกินไปในมนุษย์หรือเทคนิคอื่น ๆ ของคอมพิวเตอร์ ปัจจุบันมีการนำโครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network) มาประยุกต์ใช้กับปัญหาที่มีซับซ้อน และให้ข้อคิดวิธีแก้ปัญหาในหลาย ๆ ประเภท เช่น การพูด บุคลิกภาพ และสัญญาณการจดจำ รวมถึงการทำนายการทำงานและจำลองระบบการทำงานของร่างกายที่มีความซับซ้อนยากแก่ความเข้าใจ

การจัดเก็บข้อมูลในสมองของมนุษย์ทุก ๆ เซลล์ประสาทจะรวบรวมสัญญาณทางเซลล์ประสาทอื่น ๆ ผ่านโครงสร้างที่ทำหน้าที่รับกระแสประสาท คือ ใยประสาท (Dendrites) เซลล์ประสาทจะส่งสัญญาณไฟฟ้าผ่านแผงบางยาวที่รู้จักกันในนามว่า แอกซอน (Axon) ซึ่งจะถูกแยกออกเป็นพัน ๆ กิ่งแขนง ที่ปลายของแต่ละแขนงเป็นโครงสร้างที่เรียกว่า จุดเชื่อมประสาท (Synapse) ซึ่งเปลี่ยนการเคลื่อนไหวจาก แอกซอน (Axon) เป็นอำนาจไฟฟ้า ซึ่งยับยั้งหรือกระตุ้นการเคลื่อนไหวในเซลล์ประสาทที่เชื่อมต่อ เมื่อเซลล์ประสาทได้รับสิ่งที่ป้อนเข้าไป มีการกระตุ้น

มากกว่า เมื่อเทียบกับสิ่งที่ป้อนเข้า (Input) อื่น เซลล์ประสาทจะส่งสัญญาณไฟฟ้าลงไปที่แอกซอน (Axon) ของมันการเรียนรู้สิ่งที่เกิดขึ้นโดยการเปลี่ยนแปลงอำนาจของจุดเชื่อมประสาท (Synapse) ดังนั้นจะมีผลในการเปลี่ยนแปลงอิทธิพลของเซลล์ประสาทหนึ่งไปสู่เซลล์ประสาทหนึ่ง (ดังรูป)

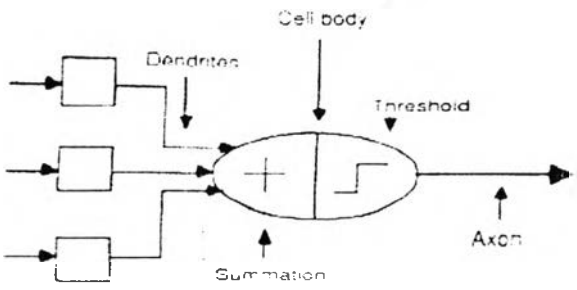


รูปที่ 12 การทำงานของเซลล์ประสาท

แหล่งที่มา : Seppo Nissila, 1997

การสร้างเซลล์ประสาทเทียมเพื่อเลียนแบบเซลล์ประสาทของมนุษย์

การสร้างเซลล์ประสาทเทียมโดยอาศัย ส่วนที่ความสำคัญของเซลล์ประสาทและส่วนที่เชื่อมโยงกัน โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถจำลองส่วนนั้นออกมา อย่างไรก็ตามเพราะว่าการศึกษาในเรื่องเซลล์ประสาทนั้นยังไม่สมบูรณ์และในเรื่องการคำนวณนั้นมีขีดจำกัด ดังนั้นการจำลองของเซลล์ประสาทเทียมนั้นยังเป็นแค่การจำลองแบบคร่าว ๆ (ดังรูป)

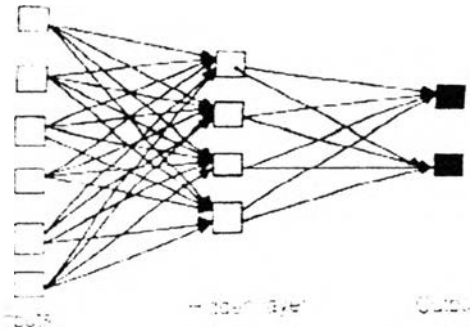


รูปที่ 13 โครงสร้างระบบเซลล์ประเทียม

แหล่งที่มา : Seppo Nissila, 1997

ระบบหน่วยงานของเซลล์ประสาทเทียม

ประเภทของเซลล์ประสาทเทียม มีหน่วยงาน 3 หน่วย ประกอบด้วยชั้นของ "Input" ซึ่งเชื่อมโยงกับชั้นของ "Hidden" และชั้น "Hidden" นั้นก็เชื่อมโยงกับชั้นของ "Output" (ดังรูป)



รูปที่ 14 ส่วนประกอบของหน่วยงานเซลล์ประสาทเทียม
แหล่งที่มา : Seppo Nissila, 1997

- "Input" คือ ข้อมูลดิบที่ถูกใส่เข้าไปในระบบหน่วยงาน
- "Hidden"คือผลที่จะแสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนไหวของหน่วย "Input" และน้ำหนักความสำคัญบนความเชื่อมโยงระหว่าง "Input" กับหน่วย "Hidden"
- "Output" คือ ที่ขึ้นอยู่กับการเคลื่อนไหวของหน่วย "Hidden" และน้ำหนักความสำคัญระหว่างหน่วย "Hidden" กับหน่วย "Output"

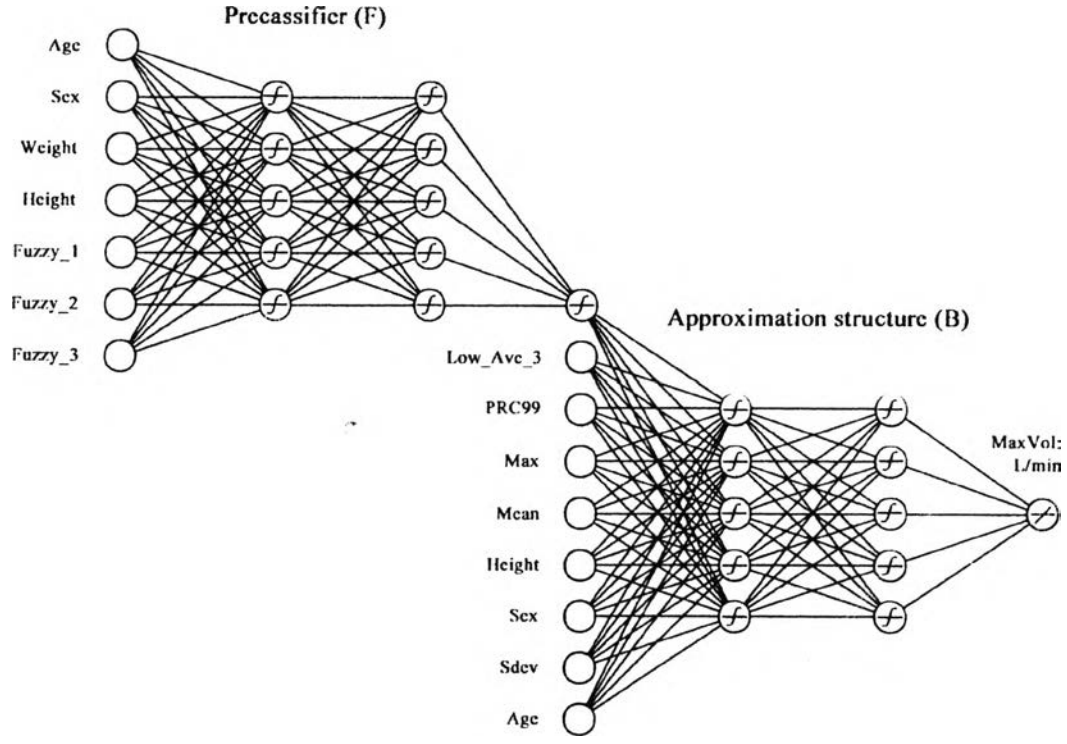
น้ำหนักความสำคัญระหว่างหน่วย "Input" กับหน่วย "Hidden" แสดงให้เห็นว่าเมื่อแต่ละหน่วย "Hidden" นั้นเกิดการเคลื่อนไหวและมีการปรับเปลี่ยนน้ำหนักความสำคัญ หน่วย "Hidden" ก็สามารถที่จะเลือกว่าจะหมายถึงอะไร

การกำหนดแบบโครงสร้างออกเป็นชั้นเดียวกัน หลายๆ ชั้น โครงสร้าง ระบบโครงสร้างชั้นเดียวซึ่งเป็นแบบที่ทุก ๆ หน่วยมีการเชื่อมโยงกันกับหน่วยอื่น ๆ ซึ่งเป็นกรณีทั่ว ๆ ไป และมีความสามารถในการคำนวณที่มีศักยภาพมากกว่าระบบโครงสร้างหลายชั้น ในระบบโครงสร้างหลายชั้น หน่วยต่างๆ จะถูกแทนด้วยตัวเลขของแต่ละชั้น มากกว่าที่จะเป็นตัวเลขของแต่ละหน่วย

การจำลองและการวิเคราะห์ระบบการทำงานของหัวใจ

โครงสร้างเซลล์ประสาทนั้นถูกใช้ทดลองกับการจำลองระบบของหัวใจมนุษย์ การวิเคราะห์จะสามารถบรรลุผลได้ โดยสร้างการจำลองของระบบการทำงานของหัวใจของแต่ละคน และเปรียบเทียบด้วยเครื่องมือที่ใช้ทดสอบ เก็บข้อมูลจากคนไข้ ถ้าหน้าที่ประจำมีผลออกมาปกติ ดังนั้นเงื่อนไขของยาที่จะมีอันตรายนั้นสามารถตรวจสอบได้ในขั้นแรก และทำให้การต่อสู้กับโรคร้ายง่ายขึ้น การจำลองของระบบการทำงานของหัวใจในแต่ละคน ต้องมีการจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสรีรวิทยา เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ ณ ระดับการเคลื่อนไหวของร่างกายที่แตกต่างกัน ถ้าการจำลองนั้นถูกปรับเปลี่ยนไปในแต่ละบุคคล ดังนั้นจะเป็นการจำลองของเงื่อนไขทางสรีระของบุคคลนั้นๆ การจำลองจะมีความสามารถที่จะปรับเปลี่ยนไปตามรูปร่างของแต่ละบุคคลโดยปราศจากการแนะนำชี้แนะจากผู้เชี่ยวชาญ ระบบนี้จึงเรียกว่าโครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network) มีศักยภาพอย่างมากมายในการคำนวณ จะได้รับผลประโยชน์อย่างสูงสุดก็ต่อเมื่อมันมีการคำนวณรวมกับข้อมูล รายละเอียดอื่น ๆ เหตุผลต่าง ๆ และความสัมพันธ์กับตัวทดลอง

จากคำกล่าวข้างต้นนี้สามารถพิสูจน์ได้ว่า เซลล์ประสาทที่นำมาวิเคราะห์นั้นสามารถนำไปใช้ในการคำนวณค่าสมรรถภาพของหัวใจโดยใช้สิ่งประดิษฐ์



รูปที่ 15 ระบบเซลล์ประสาทที่ใช้คำนวณค่าการจับออกซิเจน

แหล่งที่มา : Seppo Nissila, 1997

I20875691

2. เอกสารและงานวิจัยภายในประเทศ

การวิจัยเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดโดยวิธีจักรยานของออสตรานด์กับดรรชนีการวัดค่าการทำงานของหัวใจโดยวิธีการใช้เครื่องวัดค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจ ยังไม่มีผู้ทำการวิจัย ที่มีเกี่ยวข้องอยู่บ้างดังจะได้กล่าวต่อไปนี้

สมชาย ประเสริฐศิริพันธ์ (2514) ได้ศึกษาเรื่อง "การเปรียบเทียบผลการจับออกซิเจนขณะออกกำลังกายตามวิธีของออสตรานด์กับวิเคราะห์อากาศหายใจ" โดยใช้ผู้ทดสอบ 6 คน ออกกำลังถีบจักรยานวัดงานในห้องที่ปรับอุณหภูมิและความชื้นต่าง ๆ กันถีบจักรยานจนอัตราชีพจรถึง 180 ครั้งต่อนาที เก็บอากาศที่หายใจออกขณะออกกำลัง นำไปวิเคราะห์หาปริมาตรออกซิเจนที่ร่างกายใช้หมดไป ผลปรากฏว่าสมรรถภาพการจับออกซิเจนของร่างกายที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส กับ 3 องศาเซลเซียส ต่างกันเพียงเล็กน้อยและไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส สมรรถภาพการจับออกซิเจนลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ค่าใช้ออกซิเจนจากผลการออกกำลังที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสน้อยกว่าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส กับ 48 องศาเซลเซียส แต่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ณัฐชัย มหาไตรภพ และ ศิริชัย เอกสันติวงศ์ (2520) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "ผลของบุหรี่ต่อการเปลี่ยนแปลงคลื่นไฟฟ้าหัวใจในบุคคลที่ไม่เคยสูบบุหรี่มาก่อน" โดยการบันทึกคลื่นไฟฟ้าหัวใจก่อนสูบบุหรี่ และหลังสูบบุหร่าหนึ่งมวน แล้ววัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจของคลื่น P, Q, R, S, T, ช่วง PR, ช่วง QT และ ช่วง ST พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจในชายมากกว่าหญิง แต่ค่าของคลื่น P, T และระยะของ TP ลดลง การคลายตัวของเวนตริเกิลลดลง การหดตัวของเอเตรียม มีทั้งลดลงและเพิ่มขึ้น

ฐิติภูมิ เอื้ออำนวย และ ดุษฎี หัตตานนท์ (2523) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าหัวใจในผู้ป่วยติดยาเสพติด" โดยศึกษาจากผู้ป่วยยาเสพติดที่ไม่มีโรคร้ายแรง 27 ราย โดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นพวกที่ติดเฉพาะเฮโรอีนอย่างเดียว 18 ราย ผลปรากฏว่า อัตราการเต้นของหัวใจหลังจากได้รับการรักษาเพิ่มขึ้น และค่าคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นปกติ แต่ QT Interval มีค่าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นภายหลังการรักษาแล้ว กลุ่มที่ 2 เป็นผู้ป่วยที่ติดยาเสพติดชนิดเฮโรอีนร่วมกับยาเสพติดชนิดอื่น ๆ จำนวน 9 ราย ผลปรากฏว่า อัตราการเต้นของหัวใจภายหลังที่ได้รับการรักษาเพิ่มขึ้นแต่ไม่มากนัก และคลื่นไฟฟ้าหัวใจเป็นปกติ QT Interval มีค่าเท่ากันทั้งก่อนการรักษา และหลังการรักษา เพราะฉะนั้นเฮโรอีนจึงมีผลต่อหัวใจ

ขนิษฐา พูลสวัสดิ์ (2527) ศึกษาผลของการออกกำลังกาย โดยการวิ่งเหยาะและการออกกำลังกายโดยการถีบจักรยานอยู่กับที่ ที่มีต่อสมรรถภาพทางกายของผู้เข้ารับการทดสอบ จำนวน 20 คน โดยแบ่งเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 10 คน ทำการฝึกอย่างต่อเนื่อง 8 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน ๆ ละ 20 นาที พบว่า การฝึกถีบจักรยานอยู่กับที่และฝึกวิ่งเหยาะมีผลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 ส่วนการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มถีบจักรยานอยู่กับที่ และกลุ่มวิ่งเหยาะ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

อดิศร คันธรส (2529) ได้ศึกษาผลการฝึกแบบหมุนเวียนที่มีต่อความอดทนของระบบไหลเวียนโลหิต และเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกายของผู้สูงอายุ ที่มีอายุระหว่าง 55-65 ปี ซึ่งมิได้ออกกำลังกายเป็นประจำ จำนวน 28 คน แบ่งเป็น 2 กลุ่ม ๆ ละ 14 คน คือ กลุ่มออกกำลังกายตามโปรแกรม และกลุ่มควบคุม ฝึก 10 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน ๆ ละ 1 ชั่วโมง ขณะฝึกทำการวัดสมรรถภาพทางกายในด้านอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว โฆเลสเตอรอล ไตรกลีย์เซอไรด์ กลูโคส ความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด คลื่นอาร์ คลื่นที และเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย แล้วนำผลที่ได้จากการวัด ก่อนการฝึก หลังการฝึก 5 สัปดาห์ หลังหารฝึก 10 สัปดาห์ มาวิเคราะห์ตามวิธีสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน วิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมแบบ 2 ทางและทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีตูกี ผลปรากฏว่า

1. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก โฆเลสเตอรอลความสามารถการจับออกซิเจนสูงสุด คลื่นอาร์ คลื่นที และเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกายระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม พบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .01, .01, .01, .05 และ .01 ตามลำดับ

2. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ไตรกลีย์เซอไรด์ และกลูโคสระหว่างกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมพบว่า ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

3. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก โฆเลสเตอรอลความสามารถในการจับออกซิเจนสูงสุด และเปอร์เซ็นต์ไขมันของร่างกาย ก่อนการฝึก หลังการฝึก 5 สัปดาห์ และหลังการฝึก 10 สัปดาห์ ของกลุ่มทดลองพบว่า มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05, .01, .01 และ .01 ตามลำดับ

4. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของความดันโลหิตขณะหัวใจบีบตัว ไตรกลีย์เซอไรด์ และกลูโคส คลื่นอาร์ และคลื่นที ก่อนการฝึก หลังการฝึก 5 สัปดาห์ และหลังการฝึก 10 สัปดาห์ของกลุ่มทดลอง พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของสมรรถภาพทางกายทุกตัวแปรระหว่างการทดสอบของกลุ่มควบคุม พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

นอกจากนั้น ในวิจัยฉบับเดียวกัน อดิศร คันธรส ได้ศึกษาถึงคลื่นอาร์ และคลื่นที โดยเฉพาะคลื่นอาร์ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม 2 ทาง พบว่า ค่าเฉลี่ยของคลื่นอาร์ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคลื่นอาร์ระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุมเป็นรายคู่ พบว่า ก่อนการฝึกและหลังการฝึก 5 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่หลังการฝึก 10 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01 ส่วนความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคลื่นอาร์ระหว่างการทดสอบของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่ากลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมมีปฏิกิริยาร่วมกัน แสดงว่า ผลของการฝึกทำให้ทั้งสองกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะไม่ไปทางเดียวกัน คือ กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยความสูงของคลื่นอาร์เพิ่มขึ้น แต่กลุ่มควบคุมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ส่วนคลื่นที จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม 2 ทาง ของคลื่นทีระหว่างกลุ่มทดลองกับกลุ่มควบคุม มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคลื่นทีระหว่างกลุ่มเป็นรายคู่ พบว่า ก่อนการฝึกและหลังการฝึก 5 สัปดาห์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 แต่หลังการฝึก 10 สัปดาห์ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของคลื่นทีที่ระหว่างการทดสอบของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และพบว่า กลุ่มทดลอง และกลุ่มควบคุมมีปฏิกิริยาร่วมกัน แสดงว่าการฝึกมีผลทำให้ทั้งสองกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะไม่ไปทางเดียวกัน คือ กลุ่มทดลองมีค่าเฉลี่ยของคลื่นทีเพิ่มขึ้นตามลำดับ (2.42, 2.61 และ 2.98 มิลลิเมตร) ส่วนกลุ่มควบคุมไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่า การฝึกมีผลทำให้ความสูงของคลื่นทีเพิ่มขึ้น

นฤดี พจน์พงศ์สรรค์ (2531) ได้ทำวิจัยเรื่อง "ผลของการสูบบุหรี่ก่อนและหลังการออกกำลังกาย ที่มีต่อคลื่นไฟฟ้าหัวใจและสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุด" โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬา เพศชาย อายุระหว่าง 19 – 25 ปี สูบบุหรี่มาอย่างน้อย 1 – 2 ปี จำนวน 12 คน ผลการวิจัยพบว่าค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะพักก่อนออกกำลังกาย , ขณะออกกำลังกายนาทีที่ 3 / 5 / 8 หลังการออกกำลังกายนาทีที่ 3 / 5 / 8 และคลื่นอาร์หลังออกกำลังกายนาทีที่ 3 / 5 / 8 ของการทดสอบทั้ง 4 ครั้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยอัตราการเต้นของหัวใจ ขณะออกกำลังกายนาทีที่ 9 และค่าเฉลี่ยของคลื่น

อาร์ขณะพักก่อนออกกำลังกาย และขณะออกกำลังกายนาทีที่ 3 / 6 / 9 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 การเปรียบเทียบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ของกลุ่มที่สูบบุหรี่ และกลุ่มที่ไม่สูบบุหรี่ก่อนออกกำลังกาย มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

สุขไสว จีระยา (2531) ได้ทำวิจัยเรื่อง "การเปรียบเทียบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดในการออกกำลังกายในที่ระดับสูงจากระดับน้ำทะเลต่างกัน" โดยให้กลุ่มตัวอย่างประชากรที่ใช้ในการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม โดยวิธีการจับคู่ (Matched Group) กลุ่มละ 10 คน ทั้งสองกลุ่มเป็นนักเรียนชายชั้นมัธยมศึกษาตอนต้นโรงเรียนแม่จันทวิทยาคม ทั้งสองกลุ่มทำการฝึกวิ่งเหยาะรอบสนามโดยให้ความหนักของงานเท่ากัน 70% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ทำการฝึก 8 สัปดาห์ๆ ละ 4 วัน โดยเริ่มจากอาทิตย์แรกวิ่งวันละ 10 นาที แล้วเพิ่มขึ้นอาทิตย์ละ 5 นาที ไปจนครบ 8 สัปดาห์ กลุ่มที่หนึ่งทำการฝึกออกกำลังกายที่สนามโรงเรียนแม่จันวิทยาคม ขณะฝึกทำการวัดสมรรถภาพทางกายในด้านความดันโลหิต และสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเป็นระยะๆ คือหลังจากฝึกสัปดาห์ที่ 2, 4, 6 และเมื่อสิ้นสุดการฝึกในสัปดาห์ที่ 8 นำผลที่ได้มาวิเคราะห์ตามสถิติ โดยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบ 2 ทางและทดสอบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยวิธีดูกี (เอ) ผลการวิจัยพบว่าการออกกำลังกายโดยการวิ่งเหยาะเป็นเวลา 8 สัปดาห์ ทำให้สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดทั้งสองกลุ่มเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และการเปรียบเทียบผลของการออกกำลังกายในที่ระดับสูงต่างกัน พบว่า สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

พะเยาว์ ธนัญญากร (2532) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "ความสัมพันธ์ระหว่างการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ และคลื่นไฟฟ้าหัวใจ" โดยใช้กลุ่มประชากรเป็นนักเรียนชายระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย ของโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษาพัฒนาการ สังกัดกรมสามัญศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ ซึ่งอยู่ในอำเภอพระโขนง กรุงเทพมหานคร จำนวน 97 คน มีอายุเฉลี่ย 16.19 ปี น้ำหนักเฉลี่ย 56.97 กิโลกรัม ส่วนสูง 169.62 เซนติเมตร อัตราชีพจรขณะพัก 82.27 ครั้ง/นาที สมบูรณ์ แข็งแรง และไม่ได้เป็นนักกีฬา ทำการทดสอบการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีจักรยานของออสตรานด์ และวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจเพื่อดูอาร์ไนลีด วี 5 ผลที่ได้จากการทดสอบได้นำมาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้สูตรการหาค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ผลการวิจัยปรากฏว่า ความสามารถการจับออกซิเจนสูงสุด และคลื่นอาร์ไนลีด วี 5 ของคลื่นไฟฟ้าหัวใจ มีค่าสัมประสิทธิสหสัมพันธ์ เท่ากับ 0.76 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

ธิบดินทร์ จิตรีมิตร์ (2533) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การเปรียบเทียบการจับออกซิเจนรองสูงสุดโดยเครื่องลู่กลระหว่างวิธีของบรู๊ซกับวิธีของบัลกี้" โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยเป็นนิสิตระดับปริญญาตรี ภาควิชาพลศึกษา คณะครุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กำลังศึกษาอยู่ในภาค 2 ปีการศึกษา 2530 ซึ่งสมัครเข้ารับการทดสอบจำนวน 50 คน โดยการก้าวคงที่บนเครื่องลู่กลด้วยวิธีการของบรู๊ซและวิธีของบัลกี้ นำผลที่ได้จากการทดสอบมาวิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและค่า "ที" ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการจับออกซิเจนรองสูงสุดระหว่างวิธีของบรู๊ซกับวิธีของบัลกี้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 อัตราการเต้นของชีพจรระยะฟื้นตัวนาทีที่ 3, 5 และ 8ระหว่างวิธีของบรู๊ซกับวิธีของบัลกี้ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05 และอัตราการเต้นของชีพจรระหว่างวิธีของบรู๊ซกับวิธีบัลกี้ นาทีที่ 3,6,9 และ 12 แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .05

อดุลย์ จันละคร (2533) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "การเปรียบเทียบสมรรถภาพในการจับออกซิเจนสูงสุดระหว่างวิธีฟื้นด้วยด้วยวิธีสูดออกซิเจนกับไม่สูดออกซิเจนจากเครื่องให้ออกซิเจน" โดยให้นักเรียนชายชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย จำนวน 60 คน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มๆ ละ 30 คน ทุกคนต้องเข้ารับการทดสอบ 2 ครั้ง เว้นช่วงห่าง 1 สัปดาห์ โดยให้ออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยานวัดงานในปริมาณงาน ร้อยละ 75 และจับอัตราการเต้นของหัวใจทุก 1 นาที แล้วให้ฟื้นตัวด้วยวิธีสูดออกซิเจนกับไม่สูดออกซิเจนจากเครื่องให้ออกซิเจน จับอัตราการเต้นของหัวใจขณะฟื้นตัวทุก 1 นาที ผลการวิจัยปรากฏว่าสมรรถการจับออกซิเจนจากเครื่องให้ออกซิเจนทั้งกลุ่มทดสอบที่ให้ฟื้นตัวด้วยวิธีฟื้นตัวด้วยวิธีสูดออกซิเจนในสัปดาห์หลัง และกลุ่มทดสอบที่ให้ฟื้นตัวด้วยวิธีไม่สูดออกซิเจนก่อนในสัปดาห์แรกแล้วใช้วิธีฟื้นตัวด้วยวิธีสูดออกซิเจนในสัปดาห์หลังมีผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

ปนัดดา ฉิมตระกูล (2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "ผลของการใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจที่มีต่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดและอัตราการเต้นของหัวใจขณะฟื้นตัว" โดยใช้ผู้รับการทดสอบจำนวน 30 คน ผู้วิจัยจัดการทดสอบเป็น 2 สภาวะ คือ สภาวะที่ 1 ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจ สภาวะที่ 2 ไม่ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจ โดยให้กลุ่มตัวอย่างชั่งน้ำหนัก วัดส่วนสูง และวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก วัดสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีออสตรานด์ แล้วให้นั่งพักเพื่อหาอัตราการเต้นของหัวใจขณะฟื้นตัว แต่ละสภาวะเว้นห่างกัน 1 สัปดาห์ แล้วนำข้อมูลมาวิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าที ผลการวิจัยพบว่า ค่า

สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด ระหว่างสภาวะที่ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจมากกว่าสภาวะที่ไม่ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจ และอัตราการเต้นของหัวใจขณะฟื้นตัว ระหว่างสภาวะที่ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจ ใช้เวลาน้อยกว่าสภาวะที่ไม่ใช้พลาสเตอร์ช่วยหายใจอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ .01

ชัยสิทธิ์ ภาวิลาศ (2546) ได้กล่าวว่าผลการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาของร่างกาย อาทิเช่น ความแข็งแรงกล้ามเนื้อ สมรรถภาพหัวใจและปอด มาใช้ติดตามประเมินผลของการฝึกซ้อมในนักกีฬา ด้านความสมบูรณ์ร่างกายนั้นเป็นไปอย่างแพร่หลาย และยอมรับกันอย่างกว้างขวางในทุกประเทศ ซึ่งประเทศมหาอำนาจทางกีฬา ได้การวิจัยค้นคว้ากันอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา ในปัจจุบันหลายประเทศได้เริ่มการศึกษาความสมดุลของการควบคุมระบบประสาทอัตโนมัติในกีฬา เพื่อบ่งชี้ถึงสภาพด้านจิตใจและความเครียดของนักกีฬา ซึ่งทางด้านร่างกายจะมีผลทำให้ได้แก่มีการหลั่งเหงื่อเพิ่มขึ้น หายใจถี่ขึ้น กล้ามเนื้อเกร็ง เป็นต้น ส่วนทางด้านจิตใจจะเกี่ยวกับพฤติกรรม เช่น มือสั่น เสียงสั่น นอนไม่หลับ รวมถึงความแปรปรวนทางอารมณ์และความคิด ซึ่งจะพบว่า ทั้งสองด้านจึงมีความเกี่ยวพันกันอย่างสูงมาก จึงมีคำว่า "Psychophysiology"เกิดขึ้นมา ดังนั้น ความแปรปรวนของอัตราการเต้นหัวใจ (Heart Rate Variability) จึงเป็นตัวบ่งชี้ที่น่าสนใจ เพราะเกี่ยวข้องกับ ความสมดุลของการควบคุมของระบบประสาทอัตโนมัติ

3. เอกสารและงานวิจัยในต่างประเทศ

คาร์โปวิช (Karpovich, 1963) อธิบายว่า องค์ประกอบที่เป็นตัวกำหนดปริมาณการนำเข้าออกซิเจนของร่างกายเพื่อนำไปให้กล้ามเนื้อใช้งานมี 4 อย่าง คือ

1. ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอด โดยทั่วๆ ไปแล้วการเพิ่มปริมาณงานที่ร่างกายต้องทำ จะทำให้ปริมาณของอากาศที่เข้าสู่ปอดมีมากขึ้น ทำให้เกิดการหายใจลึกซึ่งเป็นการเพิ่มความดันเฉพาะส่วนของออกซิเจนในถุงลมของปอด เมื่อความดันเพิ่มมากขึ้นอัตราการฟุ้งกระจาย (Diffusion) และการขนส่ง (Transport) ออกซิเจนไปให้เซลล์โดยกระแสโลหิตจะมีมากขึ้นตามไปด้วย

2. ความสามารถของโลหิตที่จะนำออกซิเจนเข้าไปได้ ซึ่งจะถูกกำหนดโดยฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ในการจะทำให้ออกซิเจนที่ฟุ้งกระจายเข้ามาสู่ปอดเกาะเพื่อไปให้เซลล์ในส่วนต่างๆ ของร่างกาย

3. การปลดปล่อยออกซิเจนที่เนื้อเยื่อ ที่ระดับน้ำทะเลจะมีออกซิเจนอยู่ระหว่าง 18.5 และ 22.5 มิลลิลิตรต่อเลือด 100 มิลลิลิตร โดยปกติขณะพักผ่อนเลือด 100 มิลลิลิตร จะปล่อยออกซิเจนให้กับเนื้อเยื่อประมาณ 5.5 มิลลิลิตร แต่ระหว่างการออกกำลังกายอาจจะปล่อยเพิ่มขึ้นประมาณ 3 เท่า

4. คาร์ดิแอก เอ้าท์พุท (Cardiac Output) คือ จำนวนเลือดที่หัวใจสูบฉีดออกไปในเวลา 1 นาที เป็นไปตามกฎที่ว่าอัตราการเต้นของหัวใจเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสามารถในการจับออกซิเจน

เดวรีส์ และคลาฟส์ (Devries and Klafs , 1964) ได้รายงานสหสัมพันธ์ระหว่างคะแนนฮาร์วาร์ด สเต็ป เทสท์ กับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดว่ามีค่าเท่ากับ 0.77 ในปีต่อมา เดวรีส์ และคลาฟส์ (Devries and Klafs , 1965) ได้รายงานสหสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับความสามารถในการทำงานว่ามีค่าเท่ากับ 0.88 ตามค่าทำนายของ ออสตรานด์ – วาลันด์ เทสท์ (Astrand Wahlund Test)

วิลมอร์ (Wilmore ,1967) ได้ศึกษาหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับความอดทนในการทำงานโดยใช้วิธีวิเคราะห์อากาศที่หายใจกับเวลาที่ใช้ขี่จักรยานวัดงาน (Bicycle Ergometer) ปรากฏว่าสหสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดที่มีหน่วยเป็นลิตรต่อนาที กับความอดทนในการทำงานมีค่าเท่ากับ .84 แต่สหสัมพันธ์จะลดลงอีกเมื่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัว คือ มีค่าเท่ากับ .37 และสหสัมพันธ์จะลดลงอีกเมื่อสมรรถภาพการจับออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับน้ำหนักตัวที่ไม่คิดไขมันคือมีค่าเท่ากับ .18

ชไนเดอร์ (Schneider , 1967) ได้ศึกษาพบว่า ในการออกกำลังกายโดยการถีบจักรยานวัดงาน เมื่อเพิ่มปริมาณขึ้น (Work Load) อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นตามด้วยเป็นลำดับ ข้อนี้แสดงให้เห็นว่า อัตราการเต้นของหัวใจมีความสัมพันธ์กับปริมาณการออกกำลัง แต่จากการสังเกตพบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขึ้นสูงสุดจนถึงขีดจำกัด ในคนที่ขาดการออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจอาจสูงขึ้นถึง 240 – 270 ครั้งต่อนาที แต่ในคนส่วนมาก อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะออกกำลังกายเต็มที่ประมาณ 200 ครั้งต่อนาที

ริบบิสส์ และแคชดาเรียน (Ribisl and Kachadarian , 1969) ได้ศึกษาการทำนายสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดในคนหนุ่มและผู้ใหญ่ โดยใช้การวิ่ง 1 ไมล์ และ 2 ไมล์ ผลปรากฏว่าค่าสหสัมพันธ์ของเวลาการวิ่งกับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดในการวิ่ง 1 และ 2 ไมล์ เท่ากับ -0.79 กับ -0.85 ตามลำดับ

ออสตรานด์ (Astrand , 1970) ได้ศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเต้นหัวใจ กับการใช้ออกซิเจนสูงสุด (Maximal Oxygen Uptake) ในการทำงานระดับเกือบสูงสุด (Submaximal Work Load) โดยการถีบจักรยานวัดงาน 50 รอบต่อนาที พบว่า อัตราเต้นหัวใจมีความสัมพันธ์กับการใช้ออกซิเจนสูงสุดในขณะทำงาน และสามารถใช้อัตราเต้นหัวใจภาวะคงที่ (Steady State) ในการทำงานเกือบสูงสุดมาเป็นเครื่องบอกการใช้ออกซิเจนสูงสุด โดยมีโนโมแกรม (Nomogram) และตารางแปลค่ากำหนดไว้

แคทช์ (Katch , 1970) ได้พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับความสามารถในการทำงานหนัก เขาพบว่าบุคคลที่มีสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดจะมีความสามารถ อดทนทำงานหนักได้ นอกจากนี้ ก็หาช่วงเวลาที่ดีที่สุดในการทดสอบการทำงานประเภทที่ต้องใช้ความอดทนโดยการใช้สมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเป็นเกณฑ์ การหาสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดทำโดยวิธีเพิ่มจังหวะการทำสเต็ปเทสท์ขึ้นจากความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็น 36 รอบต่อนาที การวัดความสามารถการทำงานหนักให้ขี่จักรยานวัดงานโดยการขันสายพานให้ตัวเลขชี้ 2.5 กิโลปอนด์ในอัตรา 60 รอบต่อนาทีและเพิ่ม 0.5 กิโลปอนด์ทุกสองนาทีจนผู้ทดสอบไม่สามารถขี่ต่อไปได้ ส่วนการทดสอบการทำงานประเภทที่ต้องใช้ความอดทน โดยการวิ่งบนเทรดมิลล์เป็นเวลา 12 นาที สหสัมพันธ์ที่คิดเป็นนาที แต่ละนาทีระหว่างสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด และคะแนนการทดสอบการทำงานประเภทที่ต้องใช้ความอดทน เพิ่มขึ้นดังนี้ นาทีที่ 1 และ 2 ไม่มีนัยสำคัญ นาทีที่ 3 สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.40 นาทีที่ 6 สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.71 และนาทีที่ 12 สหสัมพันธ์มีค่าเท่ากับ 0.78 สรุปได้ว่าสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความสามารถในการทำงานประเภททนทานและสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดไม่มีประสิทธิภาพในการทำนายการทำงานประเภทที่ต้องใช้ความเร็ว และระยะเวลาสั้น

ฟาเรีย (Faria , 1970) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "อิทธิพลของการฝึกซ้อมที่มีความหนักของงานต่างกันต่อประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนโลหิต" โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นนักศึกษาชายใน

ระดับอุดมศึกษา จำนวน 40 คน แบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม กลุ่มที่ 1-3 เป็นกลุ่มทดสอบ กลุ่มที่ 4 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มทดสอบทั้ง 3 กลุ่ม ให้ฝึกออกกำลังกายโดยการก้าวเท้าขึ้นบนม้านั่งสูง 17 นิ้วครึ่ง ในอัตราความเร็ว 30 ก้าวต่อนาที จนอัตราการเต้นของหัวใจเท่ากับ 120 – 130, 140 – 150 และ 160 – 170 ครั้งต่อนาที ตามลำดับ ทำการฝึกสัปดาห์ละ 5 วัน เป็นเวลา 4 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการฝึกให้ทดสอบความสามารถในการทำงานของร่างกาย (P.W.C. 180) โดยจักรยานแบบโมนาร์ค (Monark Bicycle Ergometer) ผลปรากฏว่า

1. กลุ่มที่ฝึกจนกระทั่งอัตราการเต้นของชีพจรถึง 140 – 150 ครั้งต่อนาที และกลุ่มที่ฝึกจนกระทั่งอัตราการเต้นของชีพจรถึง 160 – 170 ครั้งต่อนาที ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดเหลือเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทั้ง 2 กลุ่มนี้

2. กลุ่มที่ฝึกกระทั่งอัตราการเต้นของชีพจรถึง 120 – 130 ครั้งต่อนาที ทำให้ประสิทธิภาพในการทำงานของระบบหัวใจและหลอดเลือดเพิ่มขึ้นอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ

3. กลุ่มทดสอบทั้ง 3 กลุ่มต่างไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างการฟื้นตัวของชีพจรหลังจากการออกกำลังกายในวันแรกและวันสุดท้าย

4. การวิจัยได้สนับสนุนสมมุติฐานว่าการจะเพิ่มความสามารถในการทำงานของร่างกายจะต้องเพิ่มความหนักของการฝึก

ยีเกอร์ และบรัยทีสัน (Yeager and Brynteson , 1970) ได้ทำการศึกษาทดสอบเรื่อง "ผลของระยะการฝึกซ้อมที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของหัวใจและหลอดโลหิตในนักศึกษาหญิง" โดยแบ่งผู้รับการทดสอบออกเป็น 3 กลุ่ม ให้ฝึกเป็นเวลา 6 สัปดาห์ ๆ ละ 3 วัน แต่ละกลุ่มฝึกไม่เท่ากัน คือ ฝึกวันละ 10/ 20/ และ 30 นาที ตามลำดับ โดยฝึกถีบจักรยานจนกระทั่งชีพจรเท่ากับ 144 ครั้งต่อนาที จากการเปรียบเทียบสมรรถภาพการจับออกซิเจนโดยวิธีของออสตรานด์ก่อนและหลังการฝึก โดยทดสอบความสามารถในการทำงานของร่างกายเพื่อดูผลการฝึกต่อประสิทธิภาพของระบบไหลเวียน ปรากฏว่า ทั้ง 3 กลุ่มมีการพัฒนาการทางด้านประสิทธิภาพของระบบไหลเวียนอย่างมีนัยสำคัญ

เกรกอรี่ (Gregory , 1970) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการวิ่ง 12 นาทีกับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของนักศึกษาชายในมหาวิทยาลัย พบสหสัมพันธ์ของการวิ่ง 12 นาที กับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ 0.66

เอเวนต์ และคณะ (Avent and Others ,1971) ได้วิจัยเรื่อง "ลักษณะการทำงานของหัวใจและหลอดเลือดโลหิตของนักกรีฑาที่เข้าแข่งขันในรอบสุดท้าย" ใช้ผู้รับการทดสอบ 13 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม คือนักวิ่งระยะสั้น ระยะกลาง และระยะไกล จากการทดสอบสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดด้วยวิธีของออสตรานด์ ปรากฏว่า สมรรถภาพการใช้ออกซิเจนสูงสุดมีค่าเท่ากับ 2.6 ลิตรต่อนาที 3.2 ลิตรต่อนาที และ 3.8 ลิตรต่อนาที ตามลำดับ

โฮลท์ (Holt , 1972) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "ความสัมพันธ์ระหว่างการวิ่งเหยาะๆ 2 แบบที่มีความเร็วต่างกันต่อการพัฒนาสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดของชายวัยกลางคน" ตัวอย่างประชากรที่ใช้เป็นชายวัยกลางคนที่มีอายุระหว่าง 25 – 35 ปี จำนวน 71 คน แบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มที่ 1 และ 2 เป็นกลุ่มทดสอบ กลุ่มที่ 3 เป็นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ 1 ฝึกการวิ่งเหยาะๆ แบบเร็ว ระยะทาง 1 ไมล์ครึ่ง ในเวลา 20 นาที กลุ่มที่ 2 ฝึกวิ่งเหยาะๆ แบบช้า ระยะทาง 1 ไมล์ครึ่ง ในเวลา 50 นาที ใช้ระยะเวลาในการฝึก 12 สัปดาห์ๆ ละ 3 วัน ก่อนและหลังสิ้นสุดการฝึก 12 สัปดาห์ ให้ผู้รับการฝึกทุกคนทดสอบ คูเปอร์ ไมล์ แอนด์ วัน ฮาล์ฟ เทสท์ (Cooper Mile and Half Test) และ โอ เอส ยู สเต็ป เทสท์ แอนด์ เวจด์ (OSU Step test and Weighed) ผลปรากฏว่า

1. กลุ่มทดสอบทั้ง 2 กลุ่มมีการพัฒนาสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม
2. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการใช้ออกซิเจนระหว่างกลุ่มที่มีการฝึกวิ่งเหยาะๆ แบบเร็วกับกลุ่มที่มีการฝึกวิ่งเหยาะๆ แบบช้า
3. ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในน้ำหนักที่หายไประหว่างกลุ่มทั้ง 3
4. การพัฒนาสมรรถภาพของหัวใจและหลอดเลือดของการฝึกทั้ง 2 กลุ่มในระยะ 6 สัปดาห์หลัง

โคเวย์ (Covey , 1972) ได้ทำการวิจัยเรื่อง "ผลของการฝึกที่ควบคุมความหนักของงานต่างกันด้วยอัตราการเต้นของหัวใจที่มีผลต่อสมรรถภาพทางการทำงานของหัวใจและการหายใจ" โดยใช้กลุ่มตัวอย่างประชากรเป็นนักศึกษาชายระดับอุดมศึกษาจำนวน 50 คน แบ่งเป็น 5 กลุ่มๆ ละ 10 คน กลุ่มที่ 1 – 4 เป็นกลุ่มทดสอบ กลุ่มที่ 5 เป็นกลุ่มควบคุม แต่ละกลุ่มจัดโดยให้มีสมรรถภาพการทำงานของหัวใจของการหายใจใกล้เคียงกัน กลุ่มทดสอบทั้ง 4 กลุ่ม ให้

ฝึกออกกำลังกายด้วยการวิ่งบนมอเตอร์ ไดรเวน เทรดมิลล์ (Motor Drivan Treadmill) ในระยะทาง 1 ไมล์ ความเร็วของการวิ่งในแต่ละกลุ่มแตกต่างกันไปกลุ่มที่ 1 ใช้ความเร็วในการวิ่งที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายสูงสุดร้อยละ 60 กลุ่มที่ 2 ใช้ความเร็วในการวิ่งที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายสูงสุด 70 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 3 ใช้ความเร็วในการวิ่งที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายสูงสุด 80 เปอร์เซ็นต์ กลุ่มที่ 4 ใช้ความเร็วในการวิ่งที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจขณะออกกำลังกายสูงสุด 90 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระยะเวลาในการฝึก 6 สัปดาห์ๆ ละ 4 วัน ก่อนและหลังสิ้นสุดการฝึก 6 สัปดาห์ ผู้รับการฝึกทุกคนทดสอบสมรรถภาพการทำงานของหัวใจและการหายใจที่เกี่ยวกับการจับออกซิเจนในปริมาณสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของหัวใจ อัตราการเต้นของหัวใจในขณะพักและการเปลี่ยนแปลงปริมาณงานของการออกกำลังกาย (Work Load Changes) ผลปรากฏว่า

1. การฝึกออกกำลังกายที่ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นระหว่าง70–90 เปอร์เซ็นต์ จะช่วยลดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และอัตราการเต้นสูงสุดของหัวใจ อีกทั้งจะช่วยเพิ่มการจับออกซิเจนในปริมาณสูงสุด และความสามารถที่จะทำงานมากขึ้น

2. การเริ่มฝึกออกกำลังกายที่จะทำให้มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก อัตราการเต้นสูงสุดของหัวใจ และการใช้ออกซิเจนในปริมาณสูงสุดจะต้องเริ่มฝึกโดยให้อัตราการเต้นของหัวใจสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์

3. การเริ่มฝึกออกกำลังกายที่จะทำให้มีผลต่อการเพิ่มน้ำหนักของงานจะต้องเริ่มฝึกโดยการให้อัตราการเต้นของชีพจรสูงถึง 70 เปอร์เซ็นต์

แคร์นี และเบรินส์ (Kearney and Byrnes , 1974) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการวิ่ง ครึ่งไมล์ 1 ไมล์ และวิ่ง 12 นาที กับการทำนายสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดของนักศึกษาชายที่เรียนวิชาเอกพลศึกษา โดยทดสอบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดด้วยการขี่จักรยานตามวิธีของออสตรานด์ (Astrand) และได้พบว่าสหสัมพันธ์ของเวลาการวิ่งกับสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดในการวิ่ง ครึ่งไมล์ 1 ไมล์ และวิ่ง 12 นาที เท่ากับ -0.30 , -0.59 และ 0.64 ตามลำดับ

คาสเตอร์ และคาลลอบก้า (Custer and Chaloupka , 1977) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทำนายสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับระยะทางการวิ่งของนักศึกษาหญิงที่มีอายุระหว่าง 18 – 21 ปี จำนวน 40 คน ทดสอบสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด โดยขี่จักรยานตามวิธีของออสตรานด์ (Astrand) บันทึกระยะการวิ่งเมื่อครบ 6 นาที 9 นาที และ 12

นาที ผลปรากฏว่าสหสัมพันธ์ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับระยะทางการวิ่ง 6, 9, และ 12 นาที เท่ากับ 0.45/ 0.37/ และ 0.49 ตามลำดับ

เกทเชลล์ และคนอื่นๆ (Getchell and Others , 1977) ได้ศึกษาการทำนายสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดจากการวิ่ง 1.5 ไมล์ ในนักศึกษาหญิงจำนวน 21 คน ที่มีสุขภาพสมบูรณ์ ผลปรากฏว่า สหสัมพันธ์ของสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดกับเวลาการวิ่ง 1.5 ไมล์ เท่ากับ 0.466 แต่น้ำหนักตัวเข้ามาเกี่ยวข้องจะมีสหสัมพันธ์เพิ่มขึ้นเท่ากับ 0.915

ฮาร์ทุง และเนาริ (Hartung and Nouri, 1979) ได้ศึกษาการออกกำลังกายต่อการเพิ่มของคลื่นที ในผู้ชายอายุ 40 – 60 ปี แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มวิ่งเหยาะ 48 คน และกลุ่มควบคุม 45 คน โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ตรวจวัดขณะพัก ขณะออกกำลังกาย และภายหลังออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มทดลองมีคลื่นที เพิ่มมากขึ้นกว่ากลุ่มควบคุม

โฮตเต และวูล์ฟ (Hoette and Wolf, 1986) ได้ศึกษาหน้าที่การทำงานของหัวใจ และการตอบสนองของร่างกายของนักอเมริกันฟุตบอลอาชีพ จำนวน 146 คน ที่มีอายุระหว่าง 22 – 37 ปี โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ ในการตรวจขณะพัก ขณะออกกำลังกายและหลังจากออกกำลังกาย พบว่า 38 เปอร์เซ็นต์ของนักกีฬามีกราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจปกติ 18 เปอร์เซ็นต์ของนักกีฬามีคลื่นอาร์สูงเกิน 26 มิลลิเมตรใน วี5 หรือ วี6 ซึ่งถือว่าเป็นการแสดงของกล้ามเนื้อหัวใจห้องล่างด้านซ้ายหนา (Left Ventricular Hypertrophy : LVH) แต่ถือว่าเป็นเรื่องธรรมดาในผู้ที่ผ่านการออกกำลังกายมามาก ๆ 20 เปอร์เซ็นต์ของนักกีฬามีอัตราการเต้นของหัวใจช้า

สแตนคัส (Stankus,1990) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลของการผ่อนคลายอารมณ์โดยการควบคุมความถี่ในการหายใจที่มีต่อค่า "HRV" โดยศึกษาสภาวะการผ่อนคลาย 4 สภาวะโดยสภาวะที่หนึ่งให้ผู้เข้าทดสอบนอน สภาวะที่ 2 ให้ผู้เข้าทดสอบนั่งเฉย ๆ โดยควบคุมการหายใจโดยการหายใจเข้าออกอย่างช้าใช้เวลา 6 นาที ส่วนภาวะที่ 3 และ 4 ให้ผู้เข้าทดสอบทำอะไรก็ได้ในระหว่างที่ทำการผ่อนคลายอารมณ์ โดยที่การทำการทดสอบทั้ง 4 สภาวะจะใช้เครื่องตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจวัดค่า "R-R Interval" แล้วนำค่าที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ความแตกต่างในแต่ละสภาวะ ผลปรากฏว่าค่า "HRV" ในสภาวะการทดสอบที่ 2 มีค่ามากกว่าสภาวะการทดสอบอื่นๆ แสดงว่าการกำหนดความถี่ในการหายใจมีอิทธิพลต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ทำให้การทำงานของระบบประสาทมีความสัมพันธ์กัน

โบคอฟสการ์ยา (Burkovskaya,1990) ได้ทำการวิจัยเรื่องความแปรผันจังหวะการเต้นของหัวใจของหญิงเป็นโรคหอบในระหว่างที่มีประจำเดือน กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศหญิงที่มีอายุระหว่าง 46 – 55 ปี ผลจากการศึกษาปรากฏว่าระดับของค่าความแปรผันอัตราการเต้นของหัวใจมีน้อยลง แสดงว่าการทำงานของระบบประสาทซิมพาเทติคมีการทำงานมากขึ้น ส่วนการทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติคทำงานน้อยลง

บิ๊กเกอร์ (Bigger, 1993) ได้กล่าวเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของช่วงระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจจากช่วงหนึ่งไปสู่อีกช่วงหนึ่ง ซึ่งการเต้นของหัวใจถูกควบคุมโดยระบบประสาทอัตโนมัติ ซึ่งการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงนี้มีประโยชน์ในทางการแพทย์ คือสามารถวินิจฉัยอาการป่วยของผู้ป่วยและลดอัตราการเสียชีวิตอย่างกระทันหันของผู้ป่วยด้วยโรคหัวใจ การวิเคราะห์ค่า "HRV" เป็นการวิเคราะห์ที่ให้ผลอย่างแน่นอน เพราะว่าการเต้นของหัวใจเกิดจากการทำงานที่สมดุลกันระหว่างระบบประสาทซิมพาเทติค

ยาคูไมท์ (Jakumait, 1996) ได้ศึกษาวิธีการรักษาคนไข้ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะกล้ามเนื้อหัวใจไม่ทำงาน โดยการหาสาเหตุเบื้องต้นจากการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ เพื่อวิเคราะห์ค่า "HRV" , การไหลเวียนของเลือด และความสามารถการจับออกซิเจน โดยให้ผู้ป่วยทำการทดสอบ "Active Orthostatic Test" (AOT) , ทดสอบปั่นจักรยาน และทดสอบความจุปอด ผลปรากฏว่าขณะทำการทดสอบ "AOT" และทดสอบปั่นจักรยาน เมื่อวิเคราะห์ค่า "HRV" พบว่ามีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว แสดงว่า เมื่อมีการออกกำลังจะทำให้การทำงานของระบบประสาทพาราซิมพาเทติคถูกยับยั้ง การสูบฉีดของโลหิตจะเพิ่มมากขึ้น การเต้นของหัวใจเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการทำงานผิดปกติของกล้ามเนื้อของหัวใจ ความสามารถในการออกกำลังจะลดลงทำให้เหนื่อยง่าย

ไวนาโม (Vainamo, 1996) ได้ศึกษาความเที่ยงตรงของเครื่องมือในการทดสอบสมรรถภาพระบบไหลเวียน โดยใช้เทคนิคการคำนวณของระบบเซลล์ประสาทพบว่า เครื่องมีความสามารถในการทำนายความสามารถการทำงานของระบบไหลเวียนได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความแม่นยำสูง ค่าคะแนนการทำนายสามารถนำมาเปรียบกับค่าความสามารถการจับออกซิเจนที่ทดสอบจากห้องทดลองได้

โบรไซเซียล (Brozaitiene,1997) ได้ศึกษาค่า "HRV" และความสัมพันธ์ของการไหลเวียนในกระแสเลือดและปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในระหว่างออกกำลังกายของคนไข้ที่มีความเสี่ยงต่อภาวะกล้ามเนื้อหัวใจไม่ทำงาน จากการวิเคราะห์กราฟคลื่นไฟฟ้าหัวใจ โดยศึกษาค่า "HRV" และการเปลี่ยนแปลงของเลือด ในระหว่างพัก , ทำงาน และระหว่างที่มีสูดก๊าซ ของผู้ทดลอง 25 คน ผลปรากฏว่า ค่า "HRV" และปริมาณออกซิเจนลดลงในระหว่างที่การทำงานไม่มีความสัมพันธ์กับอาการป่วยของคนไข้ ค่าความถี่ต่ำสุดมีค่าไปในทางลบ และความถี่สูงสุดมีค่าไปทางบวก ซึ่งมีความสัมพันธ์กันกับการจับออกซิเจนในขณะที่ถึงจุดสูงสุดในการรับออกซิเจนและถึงจุดสูงสุดของการทำงาน การขาดของออกซิเจนมีความสัมพันธ์กับค่า "HRV" และการไหลเวียนของโลหิต คือ เป็นตัวบอกว่าสภาพร่างกายมีความเหนื่อยล้า

เดวิด เพียริไน (Davide Pierini, 1997) กล่าวว่า ค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจกับความสมดุลของระบบประสาทพาราซิมพาเทติคและซิมพาเทติคมีอิทธิพลกับสรีระของแต่ละบุคคล ค่าที่แสดงออกมาจะเป็นเครื่องมือที่แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลทางด้านร่างกาย และพฤติกรรมที่แสดงให้เห็นถึงความสามารถการทำงานของหัวใจ สามารถเป็นเครื่องมือในการวัดการออกกำลังและพฤติกรรมของแต่ละบุคคล ในคนที่มีสุขภาพดีค่าความแปรผันของอัตราการเต้นของหัวใจก็มากขึ้นแสดงให้เห็นถึงการทำงานที่สมดุลกันของระบบประสาทที่ควบคุมการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต

คาวาชิ (Kawachi,1997) ได้ให้ความหมายของ "Heart Rate Variability" ว่า เป็นการเปลี่ยนแปลงของการเต้นของหัวใจขณะหนึ่งไปสู่การเต้นของหัวใจอีกขณะหนึ่ง ซึ่งสามารถวัดได้จากเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจ จังหวะการเต้นของหัวใจจะมีความสัมพันธ์ต่อระบบหายใจ

โรเกอร์ (Roger,1998) ได้ศึกษาเกี่ยวกับอิทธิผลของการบำบัดด้วยวิธีการพักผ่อนจิตใจที่มีต่อค่า "HRV" ผลปรากฏว่าการบัดด้วยวิธีการให้ผู้ป่วยได้พักผ่อนเป็นการรักษาที่ทำให้ผู้ป่วยหายเร็วขึ้น ตามหลักจิตวิทยาค่า "HRV" จะแสดงให้เห็นว่าผู้ป่วยทางจิตสภาพจิตใจที่ดีขึ้นหรือไม่ ถ้าค่า "HRV" มีค่าน้อยมากแสดงว่าสภาพจิตใจของผู้ป่วยต้องได้รับการบำบัดโดยวิธีการให้ผู้ป่วยได้รู้สึกผ่อนคลาย ค่า "HRV" มีความสำคัญมากในจิตวิทยาศาสตร์ ผลที่ได้จากการวัด "HRV" สามารถนำไปวิเคราะห์อาการผู้ป่วยและหาวิธีการรักษาให้ผู้ป่วยมีสุขภาพจิตที่ดีขึ้น

อาร์จา(Arja,1998)ได้ศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจของนักกีฬาที่ได้รับการฝึกอย่างหนัก ผลปรากฏว่าเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจได้แสดงค่ามาตรฐานที่สามารถบอกความสามารถของนักกีฬาของแต่ละคนได้อย่างแน่นอน ในการวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ของนักกีฬาโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ คอมพิวเตอร์จะวิเคราะห์ข้อมูลใหม่ที่บันทึกได้จากเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เขาได้ทำการศึกษานักกีฬาที่มีอายุระหว่าง 18 – 35 ปี ที่ทำการฝึกซ้อมอย่างหนักในช่วงฤดูก่อนการแข่งขัน ผลปรากฏว่าในนักกีฬาที่มีอายุน้อยจะมีแรงกระตุ้นมากกว่านักกีฬาที่มีอายุมาก

อินกริด (Ingrid,1998) ได้ทำการวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงของค่า "HRV" ในขณะเกิดความเครียดของเด็กวัยรุ่นที่มีอายุระหว่าง 19 - 21 ปี พบว่าในระหว่าที่เกิดอาการเครียดช่วงห่างระหว่างอัตราการเต้นของหัวใจ (R-R Interval) มีค่าน้อยกว่า 0.01 ในช่วงเวลา 5 นาทีที่เกิดภาวะตึงเครียดนั้นค่า "R-R Interval" ในเพศหญิงจะมีค่า "HRV" ต่ำกว่าเพศชาย แต่หลังจากที่เกิดภาวะตึงเครียดแล้ว 5 – 10 นาที ค่า "R-R Interval" ของเพศหญิงจะเพิ่มมากขึ้นเร็วกว่าเพศชาย

ทรอนตัน (Thornton,1998) ได้ศึกษาการพัฒนาของค่า "HRV" ในเด็กวัยรุ่นที่มีอายุระหว่าง 15 – 19 ปี เพื่อศึกษาอิทธิพลที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงของค่า "HRV" อาทิ อายุ เพศ และปัจจัยที่มีต่อระบบไหลเวียนโลหิต โดยใช้เด็กวัยรุ่นที่มีอายุระหว่าง 15–19 ปี จำนวน 206 คน เป็นเพศชาย 106 คนและเพศหญิง 100 คน โดยทำการทดสอบด้วยการวัดคลื่นไฟฟ้าหัวใจในท่านอนหงาย ผลปรากฏว่าค่า "HRV" กับปัจจัยเกี่ยวกับเพศพบว่า เพศชายมีค่า "HRV" มากกว่าเพศหญิง และค่า "HRV" ของเพศชายที่มีอายุ 15 ปีจะมีค่ามากกว่า เพศชายที่มีอายุ 19 ปี

แอนเดรย์ (Andrey,1998) ได้ทำการวิจัยเรื่องการเกิดค่า "HRV" ในระหว่างที่ฝึกความอดทนเพื่อเพิ่มความสามารถการจับออกซิเจน โดยใช้กลุ่มตัวอย่าง 3 กลุ่ม โดยให้กิจกรรมที่ฝึกร่างกายให้เกิดความอดทนในแต่ละกลุ่มต่างกัน ผลปรากฏว่าค่า "HRV" ของกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 กลุ่มมีความแตกต่างกัน จากการวิเคราะห์สังเกตเห็นได้จากการเปลี่ยนแปลงของผลรวมค่าความแปรผันอัตราการเต้นของหัวใจของแต่ละกลุ่มไม่เหมือนกัน

มิคโค (Mikko, 1998) ได้ทำวิจัยเรื่อง "การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจในขณะออกกำลังกาย กับการใช้สารกระตุ้นระบบประสาท" โดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นชายทั้งหมด 4 กลุ่ม กลุ่มแรกสารกระตุ้น "Atropine" กลุ่มที่ 2 ออกกำลังกายตามปกติ กลุ่มที่ 3 ออกกำลังกายโดยเน้นที่ขา และกลุ่มที่ 4 ออกกำลังกายโดยเน้นที่แขน ผลปรากฏว่าช่วงอัตราการเต้นของหัวใจในแต่ละกลุ่มมีความแตกต่างกัน

ลูคคาเนน (Laukkanen, 1999) ได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบสมรรถภาพการจับออกซิเจนในห้องทดลอง กับค่าการทำนายความสามารถการจับออกซิเจนโดยการใช้เทคนิคการคำนวณแบบโครงสร้างเซลล์ประสาท (Artificial Neural Network) โดยใช้กลุ่มตัวอย่างที่มีอายุระหว่าง 15-60 ปี ทั้งเพศชายและเพศหญิง จำนวน 250 คน ผลปรากฏว่า ค่าความสัมพันธ์ระหว่างการทดสอบค่าการจับออกซิเจนในห้องทดลอง กับการทำนายค่าการจับออกซิเจนมีค่าเท่ากับ 0.97