

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องผลของความเข้มข้นของเครื่องดัดผสมเกลือโคสที่มีต่ออัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณแลกเตทและเกลือโคสในเลือด ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ของนักกีฬาหญิง เป็นการศึกษาเชิงทดลอง โดยศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องแบ่งเป็น 3 ตอนดังต่อไปนี้

ตอนที่ 1 สรีรวิทยาการออกกำลังกายเกี่ยวกับการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย

1. การฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย
2. ระบบไหลเวียนโลหิตกับการออกกำลังกาย
 - 2.1 ความสำคัญและหน้าที่ของระบบไหลเวียนโลหิต
 - 2.2 ผลของการออกกำลังกายต่อระบบไหลเวียนโลหิต
 - 2.3 การวัดการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต
 - 2.4 อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย
3. ผลการทำงานของกล้ามเนื้อหลังออกกำลังกาย
 - 3.1 การสร้างกรดแลคติก
 - 3.2 การกระจายและสลายตัวของกรดแลคติก

ตอนที่ 2 น้ำและการชดเชยน้ำในนักกีฬา

1. ความสำคัญของน้ำ
2. ความต้องการน้ำของร่างกาย
3. การสูญเสียน้ำของร่างกาย
4. การชดเชยน้ำในนักกีฬา
5. การทำให้อาหารผ่านกระเพาะและการดูดซึมน้ำ

ตอนที่ 3 เครื่องดัดนักกีฬา

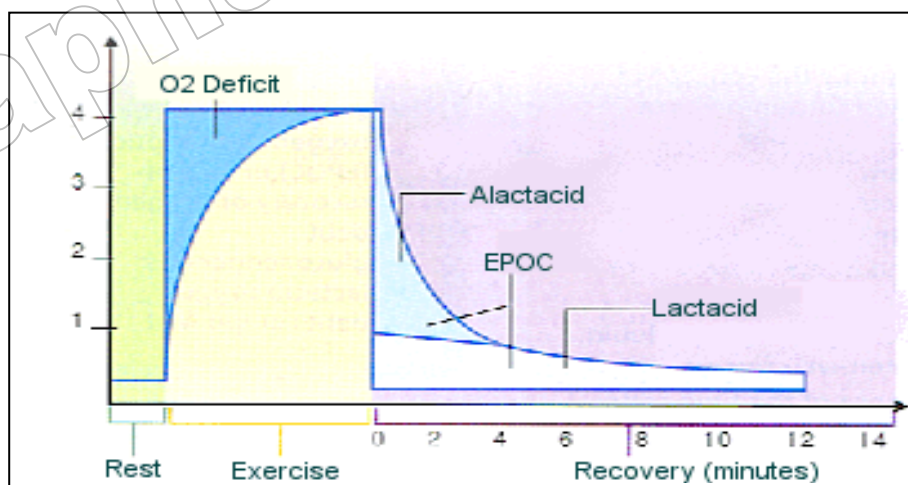
1. บทบาทของเครื่องดัดนักกีฬาและอิเล็กทรอนิกส์
2. ความหมายของเครื่องดัดผสมคาร์โบไฮเดรต
3. ประเภทของเครื่องดัดผสมคาร์โบไฮเดรต
4. เครื่องดัดผสมคาร์โบไฮเดรตและน้ำตาลสำหรับนักกีฬา
5. เครื่องดัดผสมคาร์โบไฮเดรตกับปริมาณเกลือโคสในเลือด

ตอนที่ 1 สรีรวิทยาการออกกำลังกายเกี่ยวกับการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย

1. การฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Period)

ระยะเวลาในการฟื้นตัว (Recovery Period) หมายถึง ช่วงเวลาหลังจากการออกกำลังกายสิ้นสุดลง เป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) ออกซิเจนจำนวนนี้ใช้สำหรับจ่ายคืนออกซิเจนที่ร่างกายควรจะได้รับขณะออกกำลังกายแต่เนื่องจากมีขีดจำกัดที่ไม่สามารถรับเข้าไปได้ทันจึงจำเป็นต้องยอมเป็นหนี้ไว้ก่อน ดังนั้นในขณะที่ออกกำลังกายร่างกายต้องการออกซิเจนจำนวนหนึ่ง แต่ไม่สามารถรับเข้าไปได้เพียงพอ ทำให้ออกซิเจนขาดหายไป นักสรีรวิทยาของการออกกำลังกาย เรียกปริมาณของออกซิเจนที่ขาดหายไปในการออกกำลังกายนี้ว่าออกซิเจนดิฟิซิท (Oxygen deficit) ซึ่งจะต้องมีการจ่ายคืนในช่วงการฟื้นตัว (Recovery Period) (ประทุม ม่วงมี, 2527)

การใช้หนี้ออกซิเจน หมายถึง ปริมาณออกซิเจนที่ร่างกายนำเข้าไปหลังจากการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลง เพื่อใช้ในการจัดเตรียมพลังงาน สำหรับการคืนสู่สภาพปกติของร่างกายก่อนออกกำลังกาย ประกอบไปด้วย การเติมและสะสมพลังงานและการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก (Lactic Acid) ที่เกิดขึ้นระหว่างการออกกำลังกายให้หมดสิ้นไป (Fox & Mathews, 1985) นอกจากนั้น คาร์โปวิช (Karpovich, 1963 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527) กล่าวว่า การใช้หนี้ออกซิเจนประกอบด้วย 2 ส่วนคือ อะแลคตาซิด (Alactacid) และแลคตาซิด (Lactacid) ซึ่งอะแลคตาซิด คือ ส่วนที่จ่ายคืนหนี้ออกซิเจนที่รวดเร็วกว่า ส่วนของแลคตาซิด ดังแสดงในภาพที่ 2-1



ภาพที่ 2-1 การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) หลังออกกำลังกาย

(<http://www.brianmac.co.uk>)

ประทุม ม่วงมี (2527) ได้อธิบายว่า การจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะแรก (Alactacid) เป็นการจ่ายอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาการจ่ายเพียง 4 นาที ออกซิเจนที่จะนำไปจ่ายคืนในระยะนั้นนำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอติน (Phosphocreatin) กลับคืน ซึ่งอาจใช้ออกซิเจนราว ๆ 2.5 ลิตร และนำไปทดแทนออกซิเจนที่ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) ไมยโกลบิน (Myoglobin) และของเหลวในร่างกาย ซึ่งได้เสียไปขณะการออกกำลังกาย จำนวนประมาณ 600, 300 และ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ส่วนการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (Lactacid) อาจใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง ในคนที่ไม่ฟิโตออกซิเจนที่ถูกจ่ายในช่วงเวลานี้ร่างกายใช้สำหรับเผาผลาญของเสียหรือสิ่งต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกาย เช่น การเผาผลาญกรดแลคติก ฮอร์โมนเอพิเนฟริน (Epinephrine hormone) เป็นต้น

ควินน์ (Quinn, 2008) ได้กล่าวไว้ว่า นักกีฬาส่วนใหญ่ทราบกันว่าการที่ร่างกายได้รับการพักผ่อนอย่างเพียงพอ เป็นสิ่งจำเป็นต่อสมรรถภาพของร่างกาย ในขณะเดียวกันร่างกายจะมีทั้งการซ่อมแซมและเสริมสร้างความแข็งแรงไปพร้อมกันในช่วงออกกำลังกาย ดังนั้นการฝึกอย่างต่อเนื่องจึงทำให้นักกีฬารู้สึกอ่อนเพลีย (weaken) โดยนักสรีรวิทยาและนักจิตวิทยา ให้เหตุผลว่า มีเหตุผลหลายประการที่จำเป็นต้องให้นักกีฬามีการพัก (rest) เพื่อจะให้มีการซ่อมแซมและเสริมสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ นอกจากนี้ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (recovery) ยังช่วยให้ร่างกายเติมพลังงานและซ่อมแซมเนื้อเยื่อที่ได้รับบาดเจ็บ อันเนื่องมาจากขณะออกกำลังกายหรือร่างกายทำงาน เป็นเหตุให้เกิดการสลายของเนื้อเยื่อและการพร่องไปของไกลโคเจนที่สะสมในกล้ามเนื้อ รวมทั้งการสูญเสียน้ำอีกด้วย

วีรุ (Viru, 1995) กล่าวว่า ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย หมายถึง ระยะการหยุดการหดตัวของกล้ามเนื้อ แต่ไม่เลิกกิจกรรมการทำงานและการเผาผลาญพลังงานเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) โดยจะใช้เวลาในระยะนี้แตกต่างกันแต่ละบุคคล โดยหน้าที่หลักของระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ประกอบด้วย การเปลี่ยนการทำงานของร่างกายฟื้นตัวจากระดับการออกกำลังกาย (exercise) ไปสู่ระดับปกติหรือระยะพัก (rest) การชดเชยพลังงานและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเนื้อเยื่อ การฟื้นฟูการทำงานของระบบโครงสร้างของเซลล์ และเอนไซม์ และการรักษาสมดุลต่าง ๆ ของร่างกายให้กลับคืนสู่ปกติ เป็นต้น นอกจากนี้ฟ็อกซ์ และแมทเทว (Fox & Mathews, 1985) ได้อธิบายไว้ว่า ระยะเวลาที่เพียงพอสำหรับกระบวนการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ดังแสดงในตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 ระยะเวลาที่ใช้สำหรับการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายต่ำสุดและสูงสุด ในการออกกำลังกาย
จนหมดแรง (exhaustive exercise)

กระบวนการฟื้นตัว (Recovery process)	ระยะเวลาของการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Suggested recovery time)	
	ต่ำสุด (Minimum)	สูงสุด (Maximum)
การซ่อมแซมและฟื้นฟูของกล้ามเนื้อ (Restoration of muscle)	2 นาที	5 นาที
การเติมแหล่งเก็บของฟอสฟาเจน (เอทีพี + พีซี) Phosphagen store (ATP + PC)	3 นาที	5 นาที
การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ระยะแรก (Repayment of the alactacid O ₂ debt component)	10 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายอย่างต่อเนื่อง)	46 ชั่วโมง
การสร้างและสังเคราะห์ไกลโคเจนของกล้ามเนื้อ (Muscle glycogen resynthesis)	5 ชั่วโมง (ภายหลังการออกกำลังกายที่มีเวลาพักหรือไม่ต่อเนื่อง)	24 ชั่วโมง
การเติมไกลโคเจนในตับ (Liver glycogen replenishment)	ไม่แน่ชัด	12 - 24 ชั่วโมง
การเคลื่อนย้ายกรดแลคติกในเลือดและกล้ามเนื้อ (Removal of lactic acid from blood and muscle)	30 นาที (ช่วงออกกำลังกายเบา ๆ) (exercise - recovery)	1 ชั่วโมง
	1 ชั่วโมง (ช่วงพักระยะฟื้นตัว) (rest - recovery)	2 ชั่วโมง
การจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ระยะหลัง (Repayment of the lactacid O ₂ debt component)	30 นาที	1 ชั่วโมง
การสร้างแหล่งเก็บออกซิเจนขึ้นใหม่ (Restoration of O ₂ stores)	10-15 วินาที	1 ชั่วโมง

สรุปได้ว่า การฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery period) หมายถึง ช่วงเวลาหลังจากการออกกำลังกายสิ้นสุดลง เป็นระยะเวลาที่ผู้ออกกำลังกายใช้เวลาสำหรับการจ่ายคืนออกซิเจนที่เป็นหนี้ต่อร่างกาย (Oxygen debt) โดยการจ่ายคืนนี้ออกซิเจนในระยะแรก (Alactacid) เป็นการจ่ายอย่างรวดเร็วโดยใช้เวลาการจ่ายเพียง 4 นาที ออกซิเจนที่จะนำไปจ่ายคืนในระยะนี้นำไปใช้สำหรับการสังเคราะห์ฟอสโฟครีเอติน (Phosphocreatin) กลับคืน พร้อมกับนำไปทดแทนออกซิเจนที่ฮีโมโกลบิน (Hemoglobin) มายโอโกลบิน (Myoglobin) และของเหลวในร่างกาย ส่วนการจ่ายคืนนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (Lactacid) อาจใช้เวลาถึง 1 ชั่วโมง ในคนที่ไม่ฟิตออกซิเจนที่ถูกจ่ายในช่วงเวลานี้ร่างกายใช้สำหรับเผาผลาญของเสียหรือสิ่งต่าง ๆ ซึ่งเป็นผลลัพธ์ของปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นในขณะออกกำลังกาย เช่นการเผาผลาญกรดแลคติก ฮอร์โมนเอพิเนฟริน (Epinephrine hormone) นอกจากนี้ นักสรีรวิทยา การออกกำลังกายยังเห็นว่า การฟื้นตัวหลังออกกำลังกายเป็นการที่จะช่วยให้ร่างกายได้พัก (rest) เพื่อให้ร่างกายได้ชดเชยพลังงานและซ่อมแซมส่วนที่สึกหรอของเนื้อเยื่อ การรักษาสมดุลต่าง ๆ ของร่างกายให้กลับคืนสู่ปกติ รวมทั้งการฟื้นฟูการทำงานของระบบ โครงสร้างของเซลล์และเอ็นไซม์ต่าง ๆ เพื่อเป็นการเตรียมความพร้อมของร่างกาย สำหรับการออกกำลังกายหรือออกกำลังกายในครั้งต่อไป

2. ระบบไหลเวียนโลหิตกับการออกกำลังกาย

2.1 ความสำคัญและหน้าที่ของระบบไหลเวียนโลหิต

ระบบไหลเวียนโลหิตประกอบด้วยหัวใจ หลอดเลือด และเลือด ซึ่งเป็นระบบ ๆ หนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับชีวิตมนุษย์ กลไกการทำงานของร่างกายต้องอาศัยระบบไหลเวียนโลหิต เป็นตัวนำอาหาร น้ำ ก๊าซ (ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์) ของเสีย ฮอร์โมน สิ่งต่อต้านเชื้อโรคเข้าและออกจากร่างกาย นอกจากนั้นยังเป็นตัวการที่ทำให้ความเป็นกรดและด่างของร่างกายอยู่ในอัตราส่วนที่ร่างกายต้องการ (เทเวศร์ พิริยะพูนท์, 2528) เลือดจะมีการเคลื่อนไหวเสมอภายในหลอดเลือด เนื่องจากหัวใจสูบฉีดอยู่ตลอดเวลา เลือดที่มีออกซิเจนอยู่เต็มจะออกจากปอดผ่านหัวใจและถูกลำเลียงผ่านเส้นเลือดต่าง ๆ ไปยังกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะกล้ามเนื้อที่กำลังทำงานเลือดจะไหลไปสู่ส่วนนั้น และลดปริมาณเลือดที่ไปสู่เนื้อเยื่ออื่น ๆ เป็นจำนวนมาก

ระบบไหลเวียนโลหิต หมายถึง ระบบการขนส่งของร่างกายโดยนำอาหาร ออกซิเจน น้ำ และสิ่งที่จำเป็นไปส่งให้ทุกเซลล์ในร่างกาย และนำของเสียของร่างกาย (Waste Products) ออกจากเซลล์ไปยังส่วนต่าง ๆ ของร่างกายที่มีหน้าที่ขับออก (พริ้มเพรา ผลเจริญสุข, 2537) รวมทั้ง ราแพน พรเทพเกษมสันต์ (2541) ได้อธิบายว่า หน้าที่ของระบบไหลเวียนประกอบไปด้วยดังนี้

- ขนส่งอาหารและออกซิเจนไปให้กับเซลล์ทุกเซลล์ และนำของเสีย คาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อขับถ่ายออกนอกร่างกาย

- นำเอน้ำและเกลือแร่ต่าง ๆ (Electrolyte) ไปสู่เซลล์ และขับถ่ายออกจากเซลล์เพื่อช่วยรักษาระดับความสมดุลของกรด - ด่าง (Acid - base Balance) ในเลือดและควบคุมสภาพสมดุลของของเหลวภายในร่างกาย (Fluid Balance)

- ควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ (Temperature Regulation)
- ช่วยลำเลียงฮอร์โมนและเอ็นไซม์ ไปให้เซลล์ เพื่อช่วยในการเผาผลาญของเซลล์
- ป้องกันการทำลายเชื้อโรค ช่วยสร้างภูมิคุ้มกัน (Antibodies)

ส่วนคอสติลล์ และวิลมอร์ (Costill & Wilmore, 1994) ได้กล่าวไว้ว่า ระบบหัวใจและหลอดเลือด ทำหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนและสารอาหารไปสู่เซลล์ของร่างกาย นอกจากนี้ยังทำหน้าที่ในการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และของเสียจากการเผาผลาญในเซลล์ ขนส่งฮอร์โมน ควบคุมสมดุลน้ำ รักษาอุณหภูมิ และสมดุลกรด-ด่างของร่างกาย ช่วยป้องกันการติดเชื้อ เป็นต้น

พาวเวอร์ และฮาวลีย์ (Power & Howley, 2001) กล่าวว่า ปัจจัยหลักของการรักษาคูลสภาพของร่างกายขณะออกกำลังกายคือ กล้ามเนื้อมีความต้องการใช้ออกซิเจนมากขึ้น ซึ่งในระหว่างการออกกำลังกายอย่างหนัก ร่างกายจะต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้น 15- 25 เท่าของขณะพัก โดยระบบหายใจและการไหลเวียนโลหิต (cardiorespiratory) มีหน้าที่ลำเลียงออกซิเจนและสารอาหาร ไปสู่เนื้อเยื่อ กำจัดของเสียและคาร์บอนไดออกไซด์ และช่วยในการควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ดังนั้นเพื่อตอบสนองความต้องการออกซิเจนเพิ่มขึ้นของกล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกายจึงมีการปรับเปลี่ยนคือ 1) ปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (cardiac output) เพิ่มขึ้น และ 2) เลือดมีการไหลเวียนไปที่กล้ามเนื้อมากขึ้นนั่นเอง

นอกจากนี้ถนอนวมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร และเฉลิม ชัยวัชรภรณ์ (2544) กล่าวว่า การมีระบบไหลเวียนโลหิตและระบบหายใจจะช่วยทำให้การออกกำลังกายและการเล่นกีฬาได้นานขึ้นเหนื่อยช้า และสามารถฟื้นตัวได้เร็ว โดยเฉพาะกีฬาที่มีเวลาในการพักระหว่างการแข่งขันน้อย ๆ การฟื้นตัวได้เร็วจะช่วยให้นักกีฬากลับลงสนามและเล่นได้ดีเหมือนเดิม

สรุปได้ว่า ระบบไหลเวียนโลหิตประกอบด้วยหัวใจ หลอดเลือด และเลือด ซึ่งเป็นระบบหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับชีวิตมนุษย์ โดยกลไกการทำงานของร่างกายต้องอาศัยระบบไหลเวียนโลหิตเป็นตัวนำอาหาร น้ำ ก๊าซ (ออกซิเจน และคาร์บอนไดออกไซด์) ของเสีย ฮอร์โมน สิ่งต่อต้านเชื้อโรคเข้าและออกจากร่างกาย นอกจากนั้นยังเป็นตัวการที่ทำให้ความดันกรดและด่างของร่างกาย ช่วยควบคุมอุณหภูมิของร่างกายให้เป็นปกติ ขณะออกกำลังกายร่างกายจะมีการปรับตัวของระบบไหลเวียนโลหิตเพื่อลำเลียงเลือดและออกซิเจนไปให้กล้ามเนื้อมากขึ้น จึงทำให้ปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (cardiac output) เพิ่มขึ้น ชีพจรเต้นแรงและเร็วขึ้น เป็นต้น

สำหรับนักกีฬาการมีระบบไหลเวียนโลหิตที่ดี จะช่วยให้การออกกำลังกายและการเล่นกีฬาได้นานขึ้น เหนื่อยช้า และสามารถฟื้นตัวได้เร็ว

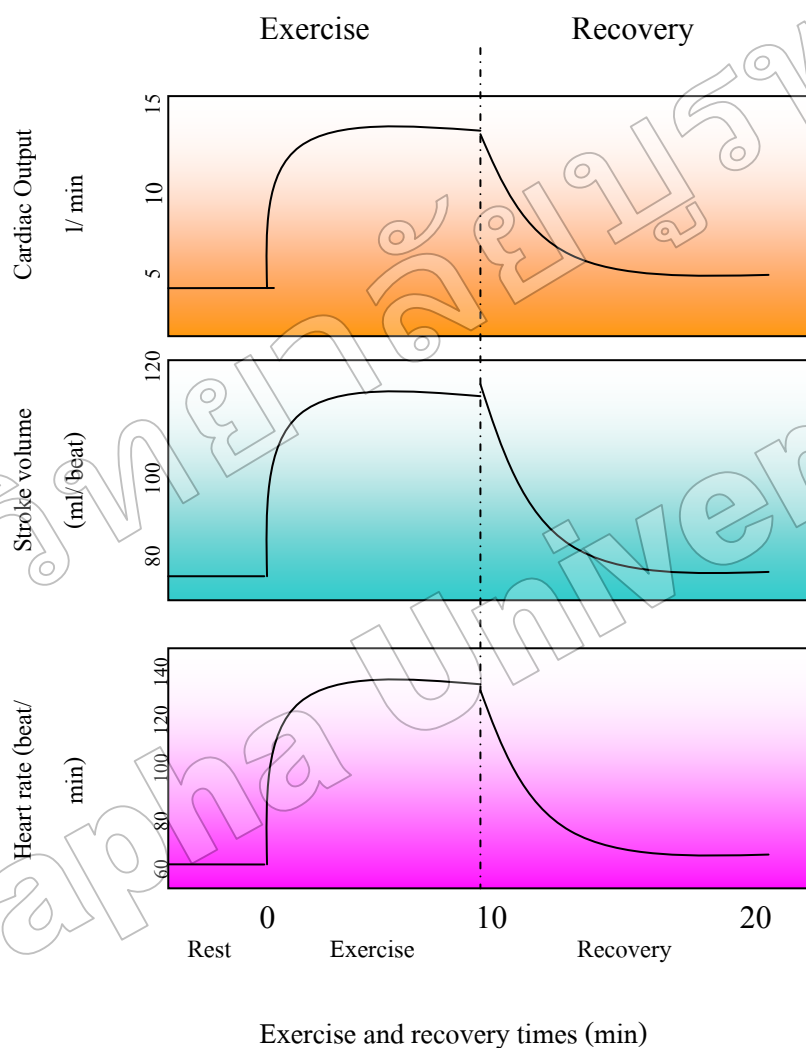
2.2 ผลของการออกกำลังกายต่อระบบไหลเวียนโลหิต

การออกกำลังกายมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อหัวใจ หลอดเลือดและเลือดมากมาย กล่าวคือ หัวใจจะเต้นเร็วและแรง ทำให้มีกำลังดันให้เลือดเข้าสู่ปอด เพื่อให้เกิดการฟอกเลือด ทำให้เป็นเลือดแดง การไหลเวียนของเลือดในระหว่างการออกกำลังกายนี้ เปรียบเสมือนกับเครื่องปั้มน้ำที่ใช้กำลังสูง สามารถดันน้ำให้ขึ้นสู่อาคารสูง ๆ ได้ กล่าวคือ เลือดจะเข้าไปฟอกทำความสะอาด เช่น เส้นโลหิตฝอยเล็ก ๆ ในสมองและหัวใจ เป็นการกระตุ้นผนังเส้นเลือดให้ตื่นตัว ยึดหยุ่น เลือดแดงบริสุทธิ์สามารถผ่านไปเลี้ยงเนื้อเยื่อสมอง ซึ่งเป็นส่วนที่สูงที่สุดของร่างกายและละเอียดอ่อนที่สุด จะมีอาหารที่มีคุณค่าลำเลียงไปพร้อมกับเลือดเพื่อไปหล่อเลี้ยงอย่างทั่วถึง พร้อมทั้งกล้ามเนื้อทุกส่วนก็ได้รับเลือดที่ไหลเวียนอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นอาหาร จึงถูกดูดซึมไปเลี้ยงกล้ามเนื้ออย่างทั่วถึงเช่นกัน รวมถึงกล้ามเนื้อหัวใจด้วย (วิจิตร บุญยะโทตระ, 2534) การออกกำลังกายจะทำให้ร่างกายเพิ่มการทำงานหนักยิ่งขึ้น นั่นเป็นเพราะการฝึกให้อวัยวะหรือระบบการทำงานของทุกส่วนในร่างกาย รู้จักการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะต่อการออกกำลังกาย โดยเฉพาะระบบไหลเวียนโลหิตคือ ทำให้หัวใจทำงานหนักยิ่งขึ้นเพื่อที่จะสูบฉีดโลหิตไปส่งตามในส่วนของกล้ามเนื้อที่มีการออกกำลังกาย เพื่อจะให้เกิดพลังงานจึงเป็นผลทำให้หัวใจมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนเส้นโลหิตฝอยที่หล่อเลี้ยงหัวใจเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการนำออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ รวมทั้งการนำของเสียกลับออกมาจากกล้ามเนื้อ ทำให้ความอดทนในการทำงานของกล้ามเนื้อจึงขึ้นอยู่กับการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตทั้งสิ้น

พาวเวอร์ และฮาว์เลย์ (Power & Howley, 2001) ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อร่างกายเริ่มออกกำลังกาย จะทำให้มีอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) ปริมาณสูบฉีดโลหิต (stroke volume) และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (cardiac output) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในภาพที่ 2-2) ถ้าอัตราการทำงานคงที่ต่ำกว่าระดับ lactate threshold และระยะคงที่ (steady - state) ของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) ปริมาณสูบฉีดโลหิต (stroke volume) และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (cardiac output) จะถึงภายใน 2 - 3 นาที

สำหรับการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายในระยะสั้น ของการออกกำลังกายที่ระดับเข้มข้นต่ำ โดยทั่วไปจะมีการฟื้นตัวอย่างรวดเร็ว (ดังแสดงในภาพที่ 2-2) พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณสูบฉีดโลหิต และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที จะลดลงกลับไปยังอัตราในขณะพักอย่างรวดเร็ว ซึ่งขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ความแตกต่างระหว่างบุคคล โดยคนที่ออกกำลังกายเป็นประจำ หรือได้รับการฝึกอย่างดี (trained) จะมีอัตราการ

เต้นของหัวใจลดลงได้เร็วกว่าผู้ที่ไม่ได้รับการฝึก (untrained) ส่วนการฟื้นตัวในระยะยาวจะลดลงอย่างช้า ๆ โดยเฉพาะการออกกำลังกายในที่ร้อนและชื้น จะทำให้อุณหภูมิของร่างกายสูงขึ้น ทำให้อัตราการเต้นของหัวใจ ในระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกายลดลงอย่างช้า ๆ (Power & Howley, 2001)



ภาพที่ 2-2 การเปลี่ยนแปลงของอัตราการเต้นของหัวใจ (heart rate) ปริมาณสูบฉีดโลหิต (stroke volume) และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (cardiac output) ขณะพัก, ขณะออกกำลังกาย ที่ระดับ Submaximal และระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Power & Howley, 2001)

สรุปได้ว่า การออกกำลังกายมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อหัวใจ หลอดเลือดและเลือดคือ หัวใจจะเต้นเร็วและแรงขึ้น ทำให้มีกำลังผลักดันให้เลือดเข้าสู่ปอด เพื่อให้เกิดการฟอกเลือดดำให้เป็นเลือดแดง สามารถสูบฉีดโลหิตไปสันดาปในส่วนของกล้ามเนื้อที่มีการออกกำลังกาย เพื่อให้เกิดพลังงานจึงเป็นผลทำให้หัวใจมีขนาดใหญ่ขึ้น จำนวนเส้นโลหิตฝอยที่หล่อเลี้ยงหัวใจเพิ่มมากขึ้น นอกจากนี้ยังช่วยนำออกซิเจนไปเลี้ยงกล้ามเนื้อและนำของเสียกลับออกมาจากกล้ามเนื้อมากขึ้นอีกด้วย และในระยะหลังออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจ ปริมาณสูบฉีดโลหิต และปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที จะลดลงกลับไปยังอัตราในขณะพักอย่างรวดเร็ว ในผู้ที่ได้รับการฝึกอย่างดีได้ดีกว่าผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย

2.3 การวัดการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต

การวัดสมรรถภาพการทำงานของหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิต ให้ออกมาเป็นปริมาณที่เปรียบเทียบได้ อันจะเป็นประโยชน์ในการบอกความสามารถและประสิทธิภาพ ในการทำงานของแต่ละบุคคล นักวิทยาศาสตร์การกีฬาได้พยายามที่จะศึกษาหาวิธีวัดสมรรถภาพการทำงานของระบบหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิต ให้สามารถใช้ทำนายได้อย่างแม่นยำ ซึ่งก็พบว่า สิ่งที่สามารถใช้เป็นตัวบอกสมรรถภาพการทำงานของหัวใจและระบบไหลเวียนโลหิตได้นั้นมีหลายอย่าง เช่น อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) อัตราชีพจร (Pulse Rate) ความดันโลหิต (Blood Pressure) การใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption) ปริมาณการไหลเวียนโลหิตใน 1 นาที (Minute Volume of Circulation) ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ดีเทอร์มินันซ์ (Carbon dioxide Determination) และองค์ประกอบของโลหิต (Blood Consumption) เป็นต้น จากการศึกษาของเมเยอร์ และเออวินน์ (Meyers & Erwin, 1962) พบว่า การวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต โดยใช้อัตราการเต้นของชีพจรเป็นเกณฑ์ สามารถบอกถึงสมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตได้ ทั้งเป็นวิธีที่ง่ายและเชื่อถือได้มาก ไม่จำเป็นต้องใช้เครื่องมือหรือสถานที่ที่ใช้ในการทดสอบ ที่ยุ่งยากหรือมีราคาแพง

สำหรับการวัดการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต จะวัดได้โดยวิธีใช้หน่วยวัดต่อไปนี้ (จรรยาพร ธรณินทร์, 2519)

2.3.1 ปริมาณฉีดโลหิต (Stroke Volume) หมายถึง จำนวนเลือดที่หัวใจฉีดออกต่อการเต้นของหัวใจ 1 ครั้ง ในการวัดความสามารถของการฉีดโลหิตของหัวใจ จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวส่งออกมาแต่ละครั้ง คือ จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวแต่ละครั้ง ในคนปกติจะมีประมาณ 60 - 70 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ๆ ประกอบอีก เช่น ขนาดของร่างกาย เพศ อายุ ท่าทาง เป็นต้น สำหรับเพศหญิงจะมีปริมาณฉีดโลหิตน้อยกว่าเพศชายประมาณ 25 เปอร์เซ็นต์

จำนวนเลือดที่หัวใจบีบตัวจะมีค่าสูงสุดเมื่อออกกำลังกายถึงระดับที่ร่างกายจับออกซิเจน 30 - 40 เปอร์เซ็นต์ของการจับออกซิเจนสูงสุด (30 - 40%VO₂max) (วุฒิพงษ์ ปรมัตถการ, 2539)

2.3.2 ปริมาณโลหิตที่หัวใจฉีดออกใน 1 นาที (Cardiac Output)

ปริมาณโลหิตที่ฉีดออกจากหัวใจใน 1 นาที (Cardiac Output) หมายถึง ปริมาณเลือดที่หัวใจฉีดออกไปในเวลา 1 นาที หรือปริมาณเลือดที่หัวใจฉีดออก 1 ครั้ง (Stroke Volume) คูณกับอัตราการเต้นของหัวใจต่อนาที (Heart Rate) ดังนี้

$$\text{Cardiac Output (C.O.)} = \text{Stroke Volume} \times \text{Heart rate}$$

$$\text{C.O} = \text{S.V} \times \text{H.R.} = (1 \text{ ครั้ง/ ลูกบาศก์เซนติเมตร}) \times (\text{ครั้ง/ นาที})$$

สำหรับปริมาณโลหิตที่ถูกฉีดออกจากหัวใจต่อ 1 นาที ขณะพักนอน จะมีการเปลี่ยนแปลงไปตามอิริยาบถของร่างกายและเพศ ขณะนอนหงายราบกับพื้น ผู้ชายผู้ใหญ่จะมี Cardiac Output อยู่ระหว่าง 4 - 6 ลิตร/ นาที ส่วนผู้หญิงในวัยเดียวกันจะน้อยกว่าเกือบ 1 ลิตร/ นาที แต่ถ้าเปลี่ยนท่าจากท่านอนหงายมาเป็นท่านยืน พบว่า Cardiac Output ลดเหลือประมาณ 3.7 ลิตร/ นาที ทั้งนี้เพราะได้รับอิทธิพลมาจากแรงดึงดูดของโลก ซึ่งทำให้เลือดตกอยู่บริเวณขา และถ้าออกกำลังกายระดับหนัก Cardiac Output อาจจะขึ้นไปถึง 20 ลิตร/ นาที ในบุคคลทั่วไปหรือ 40 ลิตร/ นาทีในนักกีฬา ที่ได้รับการฝึกเป็นอย่างดี

ส่วนการเพิ่มของปริมาณโลหิตที่ถูกฉีดออกจากหัวใจต่อ 1 นาที ในขณะที่ออกกำลังกาย ในผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกายเกิดขึ้นได้เพราะอัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นโดยที่ปริมาณโลหิตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่การเพิ่มของ Cardiac Output ขณะออกกำลังกายในนักกีฬา ที่ผ่านการฝึกมาอย่างดี เกิดขึ้นได้เนื่องจากค่าของ Stroke Volume เพิ่มมากขึ้น โดยที่อัตราการเต้นของหัวใจ ไม่จำเป็นต้องสูงเหมือนผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกาย

นอกจากนี้วิธีการวัดปริมาณโลหิตที่ถูกฉีดออกจากหัวใจต่อ 1 นาที โดยตรงเป็นเรื่องที่ไม่มีใครทำในมนุษย์ เพราะมีปัญหามากมายเนื่องจากการผ่าตัด เป็นที่ยอมรับในหลักการว่าหากไม่มีความจำเป็นแล้วไม่ควรจะมีการผ่าตัดอวัยวะส่วนใดของร่างกาย ดังนั้นการวัดโดยทางอ้อมจึงถูกคิดค้นขึ้นมาใช้ เช่น วิธีการคำนวณหา Cardiac Output ของ Fick's Method และ Stewart Principle เป็นต้น

2.3.3 ความดันโลหิต (Blood Pressure)

ความดันโลหิต (Blood Pressure หรือ B.P.) เป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยประกันให้โลหิตมีการไหลเวียนอยู่ในระบบได้ตามปกติ เราทราบจากสรีรวิทยาเบื้องต้นว่า ความดันโลหิต อาจ

แบ่งได้เป็น 3 ชนิด คือความดันโลหิตที่เส้นโลหิตแดง (Arterial Blood Pressure) ความดันโลหิตที่เส้นโลหิตดำ (Venous Blood Pressure) และความดันโลหิตที่เส้นโลหิตฝอย (Capillary Blood Pressure) ความดันโลหิตที่เส้นโลหิตแดงจะมีมากกว่าความดันโลหิตที่เส้นเลือดฝอยและเส้นโลหิตดำตามลำดับ ความดันที่แตกต่างกันเช่นนี้ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งที่ทำให้โลหิตไหลจากเส้นโลหิตแดงไปทางเส้นโลหิตดำ โดยเฉพาะในเส้นโลหิตดำใหญ่ที่เปิดเข้าสู่หัวใจห้องบนขวาจะไม่มี ความดันเลย โดยทั่วไปความดันโลหิตชนิดที่เรามากได้ยินบ่อย ๆ นั้น เป็นความดันโลหิตในเส้นโลหิตแดงซึ่งแรงดันสูงสุดจะมีตอนที่หัวใจ ห้องล่าง (Ventricles) บีบตัว เรียกว่า ความดันซิสโตลิก (Systolic Pressure) และต่ำสุดตอนที่หัวใจห้องล่างคลายตัวเรียกว่า ความดันไดแอสโตลิก (Diastolic Pressure) ความแตกต่างระหว่างความดันสูงสุดและต่ำสุดเรียกว่า "Pulse Pressure" การเปลี่ยนแปลงของความดันโลหิตขณะออกกำลังกาย ขณะที่กล้ามเนื้อกำลังทำงานความต้านทานการไหลเวียนของโลหิตที่กล้ามเนื้อนั้น (Peripheral Resistance) จะลดน้อยลงเพราะหลอดเลือดเล็กและเส้นโลหิตฝอยต่างก็เปิดเป็นทางให้โลหิตไหลผ่านมากขึ้น แต่การเพิ่มของปริมาณโลหิตที่ถูกฉีดออกมาจากหัวใจต่อ 1 นาที (Cardiac Output) ในขณะออกกำลังกายมีมากกว่าที่หลอดเลือดต่าง ๆ จะปรับตัวให้สอดคล้องได้ เพื่อรักษาความดันโลหิตไว้ ดังนั้นในขณะออกกำลังกาย ความดันโลหิตอาจเพิ่มจากขณะพักผ่อนคือ 120/80 มิลลิเมตรปรอท (mmHg) เป็น 175/110 มิลลิเมตรปรอท และด้วยความเข้มข้นของงานที่เท่ากับการทำงานด้วยแขนจะทำให้ความดันโลหิตเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าการทำงานด้วยขา เพราะไปกระตุ้นให้หัวใจทำการเต้นเร็วขึ้น

การทำงานด้วยแขนหรือขาที่มีอิทธิพลต่ออัตราการเต้นของหัวใจและความดันโลหิตที่แตกต่างกันนั้น อาจเป็นสาเหตุมาจากปริมาณของกลุ่มกล้ามเนื้อที่จะทำงาน กล้ามเนื้อแขน จัดได้ว่าเป็นกลุ่มเนื้อกลุ่มย่อย เมื่อเทียบกับกลุ่มกล้ามเนื้อขา การเป็นกลุ่มเนื้อกลุ่มเล็กหรือประสาทส่วนปลาย อาจทำให้มีความต้านทานการไหลเวียนของโลหิตส่วนปลาย (Peripheral Resistance) สูง ซึ่งอาจเป็นผลทำให้มีความดันของโลหิตสูงขึ้น

เมื่อร่างกายเปลี่ยนแปลงสภาพจากการพักผ่อนมาเป็นการออกกำลังกายความดันโลหิตจะลดลงเล็กน้อย เป็นเวลา 2 - 3 วินาที ทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะหลอดเลือดต่าง ๆ ในกล้ามเนื้อเริ่มมีการขยายตัว (Vasodilatation) หลังจากช่วงเวลา 2 - 3 วินาทีนั้น ความดันโลหิตจะค่อย ๆ สูงขึ้นเรื่อย ๆ และมักถึงขีดสูงสุดภายในเวลา 1 นาที ถ้าหากงานนั้นเป็นงานที่มีความเข้มข้นสูง หลังจากที่มีความดันโลหิตขึ้นถึงขีดสูงสุดแล้ว หากงานที่ทำดำเนินต่อไปในระดับคงที่ (Steady state) คือ อัตราการขนส่งออกซิเจนเท่ากับปริมาณของออกซิเจนที่เซลล์ต้องใช้ ความดันโลหิตจะลดลงเล็กน้อย

ดังนั้นเมื่อการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลง ความดันโลหิตจะต่ำลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งมักจะต่ำกว่าอัตราปกติ ภายในเวลา 5 - 10 วินาที แล้วจะเริ่มสูงขึ้นอีก การลดต่ำกว่าอัตราปกติในระยะแรก อาจเป็นเพราะโลหิตพากันไปค้างอยู่ในหลอดเลือดที่ยังไม่ทันจะบีบตัว ให้มีเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลง เมื่อการออกกำลังกายได้สิ้นสุดลงแล้ว ประกอบกับกล้ามเนื้อที่ไม่ต้องการหดตัวต่อไป ทำให้หายไป และความดันโลหิตที่ต่ำลงในช่วงเวลา 5 - 10 วินาทีนั้น อาจเป็นเครื่องกระตุ้นให้หลอดเลือดต่าง ๆ หดตัวลงเพื่อรักษาความดันโลหิตให้อยู่ในอัตราปกติต่อไป

2.3.4 อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate)

อัตราการเต้นของหัวใจ เป็นดัชนีที่ดีที่สุดและง่ายที่สุด ส่วนอัตราชีพจร (Pulse Rate) เป็นการไหลของโลหิตในหลอดเลือดตามจังหวะการเต้นของหัวใจนั้นเป็นจำนวนครั้ง/ นาที นิยมจับกันที่เส้นโลหิตแดงที่โคนฝ่ามือ (Radial Artery) และบริเวณหลอดเลือดแดงหลังของคอ (Carotid) ซึ่งอยู่ที่คอบริเวณใต้กรามล่าง อัตราการเต้นของชีพจรในผู้ใหญ่ ประมาณ 72 - 80 ครั้ง/ นาที ในขณะที่ชีพจรต้องสังเกตดูจังหวะการเต้นของชีพจรว่าสม่ำเสมอหรือไม่ ความแรงเท่ากันหรือไม่ นอกจากนี้รึาแพน พรเทพเกษมสันต์ (2541) ได้กล่าวว่า ลักษณะของชีพจรจะแตกต่างกันได้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

2.3.4.1 เพศ เพศหญิงชีพจรเร็วกว่าเพศชายเล็กน้อย หญิง 70 - 80 ครั้ง/ นาที ชาย 65 - 70 ครั้ง/ นาที

2.3.4.2 อายุ เด็กก่อนชีพจรเร็ว คนสูงอายุชีพจรช้า

2.3.4.3 รูปร่าง ถ้ามีขนาดตัวใหญ่ อัตราการเต้นน้อยลง ถ้ารูปร่างเล็กอัตราการเต้นเพิ่มขึ้น

2.3.4.4 การออกกำลังกายหรือการทำงานใด ๆ ก็ตาม ชีพจรจะเต้นเร็วขึ้น เช่น หลังรับประทานอาหาร

2.3.4.5 ภาวะทางอารมณ์ เช่น ตื่นเต้น กังวล ตกใจกลัว ชีพจรจะเต้นเร็ว

2.3.4.6 ภาวะโรคบางอย่าง เช่น โรคหัวใจ (Heart Disease) โรคของต่อมไทรอยด์ (Thyroid Disturbance)

2.3.4.7 ยาบางชนิด เช่น ฮอร์โมนอิพิเนฟริน (Epinephrine) ทำให้หัวใจเต้นเร็วและบีบตัวแรง และยาบำรุงหัวใจ (Digitalis) ทำให้ชีพจรช้าลง

2.3.4.8 เมื่อความร้อนของร่างกายสูงขึ้น เช่น ระหว่างเป็นไข้ชีพจรเร็วขึ้น

2.3.4.9 ความดันโลหิต เมื่อความดันโลหิตต่ำชีพจรจะเต้นเบาและเร็ว เพื่อจะบีบให้จำนวนเลือดเข้ามาในกระแสเลือดมากขึ้น แต่ถ้าความดันโลหิตสูง ชีพจรจะช้าลงและเต้นแรง

นอกจากนี้คณะกรรมการนานาชาติ ในการประชุมเพื่อจัดมาตรฐานของการทดสอบสมรรถภาพทางกาย (The International Committee for Standardization of Physical Fitness Test) ที่กรุงเม็กซิโก เมื่อเดือนตุลาคม พ.ศ. 2511 ได้ลงมติว่า เออร์โกเมทรี (Ergometry) ซึ่งเป็นวิธีการวัดสมรรถภาพของระบบไหลเวียนโลหิตที่ดีวิธีหนึ่ง สามารถใช้เครื่องมือได้ 3 แบบคือ (ไพร์นทร์ จำลองราษฎร์, 2522)

- จักรยานวัดงาน (Bicycle Ergometer) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความถี่ของการปั่นและอัตรารอบของการปั่น

- ลู่วิ่งกล (Treadmill Ergometer) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความเร็วและความชันของทางเลื่อน

- ม้าก้าวขึ้น - ลง ปรับระดับได้ (Step Ergometer) ปริมาณของงานกำหนดด้วยความสูงของม้าและจังหวะการก้าวขึ้น - ลง (ไพร์นทร์ จำลองราษฎร์, 2522 อ้างอิงจาก The International Committee for Standardization of Physical Fitness Test, 1999) เครื่องมือที่ใช้ทดสอบทั้ง 3 แบบนี้ใช้วิธีการวัดคล้ายกันคือวัดในระหว่างงานที่ทำกับผลการเปลี่ยนแปลงของร่างกายขณะทำงาน หรือหลังจากทำงาน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการทดสอบการประเมินผลสมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตที่นิยมใช้วิธีหนึ่งคือการวัดอัตราการเต้นชีพจรภายหลังการออกกำลังกาย ที่เรียกว่า ก้าวม้า หรือสเต็ปเทสต์ (Step Test) วิธีนี้ใช้วัดอัตราชีพจรในระยะฟื้นตัว ซึ่งนับว่าเป็นการทดสอบที่มีประสิทธิภาพ มีความเที่ยงตรง และเชื่อถือได้ นอกจากนี้ฮาร์วาร์ด สเต็ป เทสต์ (Harvard Step Test) เป็นแบบทดสอบแบบหนึ่ง ซึ่งใช้เป็นวิธีทดสอบสมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต สามารถใช้วัดความสัมพันธ์ในการทำงานของหัวใจ ความอดทนของกล้ามเนื้อและการไหลเวียนโลหิต เพื่อวัดประสิทธิภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ในการปรับตัวให้เข้ากับงานที่ทำกับความสามารถของร่างกายในการฟื้นตัวหลังจากการทำงานหนักมาแล้ว ทั้งนี้ถือเอาการทำงานของหัวใจเป็นมาตรฐาน ซึ่งกำหนดให้ใช้ม้าสำหรับก้าวสูง 20 นิ้ว และต้องก้าวเท้าขึ้น - ลงบนม้าในการทดสอบเป็นเวลา 5 นาที (Meyers & Blesh, 1962 อ้างถึงใน จรวยพร ธรณินทร์, 2521) ผู้ที่ได้คะแนนจากการทดสอบฮาร์วาร์ด สเต็ป เทสต์ สูงตั้งแต่ 90 คะแนนขึ้นไป แสดงว่ามีสมรรถภาพการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิตดีมาก คือมีการประสานงานที่ดีของระบบหายใจและระบบไหลเวียนโลหิต และยังต้องมีความอดทนของกล้ามเนื้ออีกด้วย

ออสตรานด์ และไรห์มิง (Astrand & Rhyming, 1954 อ้างถึงใน ศิริพร ทองศิริ, 2530) ใช้การขี่จักรยานวัดงานเป็นเวลา 6 นาที ระดับของงาน 600 กิโลปอนด์มิเตอร์ต่อนาที แล้ววัดชีพจรทุกนาทีเพื่อหาระดับคงที่ (Steady State) ของอัตราการเต้นของหัวใจ แล้วนำค่าอัตรา

ชีพจรที่คงที่ไปเปิดตารางเทียบหาค่าสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุด แบบทดสอบนี้มีความคลาดเคลื่อนประมาณ 8 - 15 เปอร์เซ็นต์ ความเหมาะสมของแบบทดสอบสามารถทำนายสมรรถภาพการจับออกซิเจนสูงสุดได้อย่างใกล้เคียงและสะดวกต่อการทดสอบ ส่วนการทดสอบ PWC 170 (Physical Working Capacity) เป็นการทดสอบเออร์โกเมตริกซ์ วิธีหนึ่งที่ระดับ Submaximal Aerobic Testing (PWC 170 and Åstrand - Rhyming Prediction of $\text{VO}_{2\text{ peak}}$) เป็นเครื่องมือที่มีประโยชน์สำหรับการประเมินอัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ความดันโลหิต (Blood Pressure) และสามารถประเมินความฟิตของร่างกาย ที่ระดับสูงสุด (Maximal exercise testing) ได้อีกด้วย โดยการทดสอบ PWC 170 เป็นการทดสอบที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำและความเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนมีน้อย (Beekley et al., 2004)

สรุปได้ว่า การวัดการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต สามารถวัดได้หลายวิธี เช่น อัตราชีพจร (Pulse Rate) อัตราการเต้นของหัวใจ (Heart Rate) ความดันโลหิต (Blood Pressure) ปริมาณโลหิตที่ถูกฉีดออกจากหัวใจต่อ 1 นาที (Cardiac Output) ปริมาณสโตรคโลหิต (Stroke Volume) เป็นต้น นอกจากนี้สำหรับนักกีฬาวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate) เป็นการวัดความฟิต (Fitness) และการฟื้นตัวของร่างกายหลังออกกำลังกาย ทำได้โดยการวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) ปั่นจักรยานวัดงาน และม้าก้าวขึ้น-ลง เป็นต้น นอกจากนี้การทดสอบ PWC 170 (Physical Working Capacity) เป็นการทดสอบเออร์โกเมตริกซ์ที่เสียค่าใช้จ่ายต่ำ และความเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนมีน้อย

2.4 อัตราการเต้นของหัวใจระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate)

สกอตต์ (Scott, 2009) ได้อธิบายว่า อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate) หมายถึง การวัดอัตราการเต้นของหัวใจ หรือชีพจร (Pulse) ภายหลังจากออกกำลังกายแบบแอโรบิก (aerobic exercise) โดยอัตราการเต้นของหัวใจสามารถวัดได้ทันทีขณะออกกำลังกาย หรือระยะคลายอุ่น (cool down) และอีกครั้งเมื่อหยุดการออกกำลังกาย เพื่อประเมินการฟื้นตัวของร่างกายหลังออกกำลังกาย โดยสามารถประเมินจากชีพจรที่กลับคืนสู่สภาพปกติ เปรียบเทียบกับชีพจรก่อนออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทดังนี้

- อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก (Resting Heart Rate) เป็นอัตราการสูบฉีดเลือดของหัวใจ ขณะที่ร่างกายนิ่ง ๆ หรือนอนพัก ซึ่งสามารถบอกระดับความฟิต (Fitness Level) โดยทั่วไปจะช้ากว่าอัตราการเต้นของหัวใจปกติ ประมาณ 15 - 20 ครั้งต่อนาที

- อัตราการเต้นของหัวใจขณะทำงาน (Working Heart Rate) ซึ่งในขณะที่ออกกำลังกาย จะทำให้อัตราการเต้นของหัวใจมากขึ้น

- อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate)
เป็นอัตราการเต้นของหัวใจที่เกิดขึ้นหลังจากหยุดออกกำลังกาย

เมอร์กิน (Mirkin, 2008) กล่าวว่า อัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate) เป็นการวัดความฟิตของร่างกาย (Fitness) และการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย โดยการวัดอัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ทำได้โดยการวิ่งบนลู่วิ่ง (Treadmill) จนกว่าเหนื่อย หลังจากหยุดออกกำลังกาย แล้วทำการจับชีพจร 1 นาที ถ้าชีพจรไม่ลดลงอย่างน้อย 30 ครั้งต่อนาที ในนาทีแรกหลังออกกำลังกาย แสดงว่าร่างกายไม่ฟิต และมีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคหัวใจเพิ่มขึ้น นอกจากนี้หากอัตราการเต้นของหัวใจ ลดลงมากกว่า 50 ครั้งต่อนาทีในนาทีแรกหลังออกกำลังกาย แสดงว่าร่างกายมีความฟิต

โดยปกติระยะของการออกกำลังกาย 8 - 12 นาที จะทำให้ชีพจรเต้นเร็วขึ้นอย่างรวดเร็ว และจนถึงจุดที่ออกกำลังกายเหนื่อยหมดแรง (Maximal Exhaustion) ซึ่งอัตราการเต้นของหัวใจในขณะพัก ประมาณ 60 - 70 ครั้งต่อนาที จะเพิ่มขึ้นเป็น 170 - 190 ครั้งต่อนาทีในขณะออกกำลังกายสูงสุด การคำนวณค่าอัตราการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย หาได้จากสูตรดังนี้

$$\text{Recovery Heart Rate} = (\text{exercise heart rate} - \text{recovery heart rate after 1 minute}) / 10$$

คะแนนเกณฑ์การประเมินอัตราการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ได้ดังนี้

น้อยกว่า 2 = ไม่ดี (Poor)

2 - 2.9 = ปานกลาง (Fair)

3 - 3.9 = ดี (Good)

4 - 5.9 = ดีเยี่ยม (Excellent)

มากกว่า 6 = ดีเด่น (Outstanding)

ประทุม ม่วงมี (2527) ได้อธิบายว่า การกลับคืนสู่ระดับปกติของอัตราการเต้นของหัวใจ ภายหลังการออกกำลังกายขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และระดับความสามารถทางกายของคน ๆ นั้น ในคนที่มีร่างกายฟิต อัตราการเต้นของหัวใจมักกลับคืนสู่อัตราปกติเร็วกว่าคนที่มีร่างกายไม่ฟิต เนื่องจากหัวใจมีประสิทธิภาพในการทำงาน และระบบการไหลเวียนของโลหิตสามารถขนส่งออกซิเจนและรับของเสียต่าง ๆ ไปสู่และออกจากกล้ามเนื้อได้ดีกว่าการกลับคืนสู่อัตราการเต้นปกติของหัวใจเป็นไปอย่างเชื่องช้าในการออกกำลังกายที่ยาวนาน และต้องหยุดเพราะความล้า ซึ่งบางคนอาจต้องใช้เวลาถึง 1 - 2 ชั่วโมง ก่อนที่อัตราการเต้นของหัวใจจะคืนสู่อัตราการเต้นก่อนการออกกำลังกาย

นอกจากนี้กระบวนการทางสรีรวิทยาที่จะสามารถบอกได้แน่นอนเกี่ยวกับการกลับคืนสู่อัตราปกติของอัตราการเต้นของหัวใจยังเป็นสิ่งที่ไม่ทราบอย่างเด่นชัดนัก แต่นักสรีรวิทยาได้ให้ข้อสังเกตเกี่ยวกับอัตราการเต้นของหัวใจในระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกายไว้ดังต่อไปนี้

- สิ่งที่มีอิทธิพลทำให้อัตราการเต้นของหัวใจเพิ่มขึ้นขณะออกกำลังกาย ได้แก่ อุณหภูมิของร่างกายสูง และสภาวะของความเป็นกรดของเลือดสูง
- ปฏิกริยาสะท้อนอันเนื่องมาจากการที่การออกกำลังกายสิ้นสุดลง ซึ่งทำให้กล้ามเนื้อไม่ต้องหดตัวต่อไป จึงไม่ไปบีบหลอดโลหิตเป็นผลทำให้โลหิตไหลเวียนกลับเข้าสู่หัวใจได้ไม่ค่อยดี เพราะขาดเครื่องบีบ ส่งผลให้ปริมาณของโลหิตที่ไหลกลับเข้าสู่หัวใจ (Venous Return) มีน้อย ส่งผลให้โลหิตที่จะถูกฉีดออกไปจากหัวใจห้องล่างแต่ละครั้งมีน้อยลง ซึ่งในภาวะเช่นนี้ หากหัวใจเต้นช้าลง จะเป็นผลให้เกิดความดันโลหิตต่ำ อันอาจเป็นอันตรายต่อร่างกายในขณะนั้น ดังนั้นหัวใจจึงยังคงต้องมีอัตราการเต้นที่สูงต่อไป ถึงแม้ว่าการออกกำลังกายนั้นได้สิ้นสุดลงแล้วก็ตาม

สรุปได้ว่าอัตราการเต้นของหัวใจ ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (Recovery Heart Rate) หมายถึง การวัดอัตราการเต้นของหัวใจหรือชีพจร (Pulse) ภายหลังการออกกำลังกายแบบแอโรบิก (Aerobic Exercise) เป็นการวัดความฟิต (Fitness) ของร่างกาย โดยอัตราการเต้นของหัวใจสามารถวัดได้ทันทีขณะออกกำลังกาย หรือระยะคลายอุ่น (cool down) และอีกครั้งเมื่อหยุดการออกกำลังกาย เพื่อประเมินการฟื้นตัวของร่างกายหลังออกกำลังกาย สำหรับการกลับคืนสู่ระดับปกติของอัตราการเต้นของหัวใจภายหลังการออกกำลังกาย ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ระยะเวลาของการออกกำลังกาย และระดับความสามารถทางกายของคน ๆ นั้น ในคนที่มีร่างกายฟิต อัตราการเต้นของหัวใจมักกลับคืนสู่อัตราปกติเร็วกว่าคนที่มีความฟิตไม่ฟิต โดยบางคนอาจจะต้องใช้เวลาเป็น 1 - 2 ชั่วโมง

3. ผลการทำงานของกล้ามเนื้อหลังออกกำลังกาย

3.1 การสร้างกรดแลคติก

ประทุม ม่วงมี (2527) ได้อธิบายไว้ว่า กรดแลคติก ถูกสร้างขึ้นมาอย่างมากในช่วงเวลาของการสร้างพลังงานแบบ anaerobic โดยที่ร่างกายได้รับออกซิเจนเข้าไปไม่เพียงพอ ทำให้ pyruvate ทำหน้าที่รับเอาอะตอมของไฮโดรเจนไปเสียเองจนทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น ปกติในโลหิตจะมีกรดแลคติก อยู่ 10 mg% และคาร์โปวิช (Karpovich, 1971 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527) กล่าวว่า ความสามารถสูงสุดของคนที่มีฟิตที่จะทนต่อการมีกรดแลคติกในเลือดได้คือ 130 mg% (บางรายตัวเลขอาจสูงขึ้นไปถึง 300 mg%) ภายหลังการออกกำลังกายที่เข้มข้นรุนแรงได้เริ่มขึ้น กรดแลคติกจะถูกสร้างขึ้นมากในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อย ๆ โดยการสร้างกรดแลคติกจะมากหรือ

น้อยย่อมขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ซึ่งออสตรานด์และโรดฮัล (Astrand & Rodahl, 1970 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527) ได้สรุปไว้ดังนี้

- ขณะออกกำลังกายชนิดเบา ๆ (Light exercise) การออกกำลังกายชนิดนี้มักไม่มีปัญหาเรื่องปริมาณของออกซิเจน เพราะออกซิเจนที่มีสะสมอยู่บ้างเล็กน้อยบวกกับออกซิเจนที่ระบบการหายใจและระบบไหลเวียนสามารถจะนำไปส่งยังกล้ามเนื้อที่มีปริมาณเพียงพอับความต้องการกรดแลคติกจึงถูกสร้างขึ้นน้อยมาก

- ขณะออกกำลังกายที่มีความเข้มข้นปานกลาง (Exercise of moderate intensity) ร่างกายสร้างพลังงานแบบ anaerobic ในระยะต้นของการออกกำลังกายจนกระทั่งกระบวนการสร้างพลังงานแบบ aerobic เข้ามามีบทบาทในการสร้างพลังงานแทนเพื่อให้เพียงพอับความต้องการของร่างกาย กรดแลคติกที่ถูกสร้างขึ้นมาในระยะต้นของการออกกำลังกาย จะฟุ้งกระจายเข้าสู่กระแสโลหิต เมื่อการออกกำลังกายแบบนี้ดำเนินต่อไปด้วยปริมาณของกรดแลคติก จะลดน้อยลงถึงขั้นระดับที่เท่ากับร่างกายอยู่ในสภาวะพักผ่อน (Resting Level) และการออกกำลังกายที่สามารถดำเนินต่อไปเรื่อย ๆ เป็นชั่วโมงเลยทีเดียว

- ขณะออกกำลังกายที่หนัก (Heavy exercise) การออกกำลังกายแบบนี้จะเริ่มมีปัญหาเรื่องปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอับความต้องการที่จะนำไปใช้ในการสร้างพลังงานและทำให้กรดแลคติกถูกสร้างขึ้นมามากขึ้น และเป็นผลให้พบกรดชนิดนี้ในปริมาณที่สูงในกระแสโลหิต ปริมาณที่สูงนี้จะคงอยู่ต่อไปตลอดระยะเวลาของการออกกำลังกาย ผู้ที่ไม่ค่อยได้ออกกำลังกายจะทนต่อการมีกรดแลคติกสูงได้ไม่ดี แต่สำหรับผู้ที่ย่อยออกกำลังกายเป็นประจำได้รับการฝึกร่างกายให้แข็งแรงอยู่เสมอและมีแรงจูงใจสูงอาจออกกำลังกายในลักษณะนี้ได้ถึง 30 นาทีหรืออาจมากกว่านี้ก็ได้

- ขณะออกกำลังกายหนักมาก (Severe exercise) การออกกำลังกายเช่นนี้มีปัญหามากขึ้น เพราะปริมาณของออกซิเจนไม่เพียงพอแก่ความต้องการหรือปริมาณที่ขาดไป (Oxygen deficit) มีจำนวนมากขึ้นการออกกำลังกายเช่นนี้มักดำเนินต่อไปได้ไม่เกิน 2-3 นาที เพราะกล้ามเนื้อไม่สามารถทำหน้าที่ของมันต่อไปได้ ตัวอย่างของการออกกำลังกายเช่นนี้ ได้แก่ การแข่งขันวิ่งระยะทางสั้น ฯลฯ

นอกจากนี้กรดแลคติกจะถูกผลิตขึ้นมาขณะการออกกำลังกาย แต่ต้องใช้เวลาในการฟุ้งกระจายในกล้ามเนื้อออกไปสู่กระแสโลหิตและเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณสูงสุดที่แท้จริงของกรดชนิดนี้จึงจำเป็นต้องนำตัวอย่างเลือดมาวิเคราะห์ปริมาณบ่อย ๆ ในช่วงเวลา 5 - 10 นาที ในเวลาหลังการออกกำลังกาย นอกจากนั้นอาจสังเกตได้จากปริมาณของ

กรดแลคติกที่ลดลงทีละน้อยนั้นต้องใช้เวลาราว 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าก่อนที่จะลดปริมาณลงสู่ระดับปกติ (Crescitelli & Taylor, 1944 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527)

สรุปได้ว่ากรดแลคติก ถูกสร้างขึ้นมาอย่างมากในช่วงเวลาของการสร้างพลังงานแบบ anaerobic โดยที่ร่างกายได้รับออกซิเจนเข้าไปไม่เพียงพอ ทำให้ pyruvate ทำหน้าที่รับเอาอะตอมของไฮโดรเจนไปเสียเองจนทำให้เกิดกรดแลคติกขึ้น ปกติในโลหิตจะมีกรดแลคติกอยู่ 10 mg% โดยคนที่ร่างกายฟิต จะมีความสามารถสูงสุดที่จะทนต่อการมีกรดแลคติกในเลือดได้ถึง 130 mg% (บางรายอาจสูงขึ้นไปถึง 300 mg%) นอกจากนี้ภายหลังการออกกำลังกายที่เข้มข้นรุนแรงได้เริ่มขึ้น กรดแลคติกจะถูกสร้างขึ้นมาในปริมาณที่มากขึ้นเรื่อย ๆ โดยการสร้างกรดแลคติกจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปริมาณของออกซิเจนและความเข้มข้นของการออกกำลังกาย เมื่อสิ้นสุดการออกกำลังกายกรดแลคติกจะลดลงทีละน้อย ซึ่งในการประเมินระดับแลคเตทในเลือด จะต้องมีการตรวจวิเคราะห์เลือดบ่อย ๆ ในช่วง 5-10 นาทีแรกและภายใน 1 ชั่วโมงหลังออกกำลังกาย

3.2 การกระจายและการสลายตัวของกรดแลคติก

เมื่อกรดแลคติกที่เกิดจากกระบวนการ anaerobic glycolysis สะสมในกล้ามเนื้อและเลือด จึงทำให้เกิดความเมื่อยล้า (fatigue) ดังนั้นในระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกายที่มีกรดแลคติกสะสมเป็นจำนวนมาก ร่างกายจะต้องมีการกำจัดออกไปทั้งจากกล้ามเนื้อและในเลือด ก่อนที่จะเข้าสู่ระยะการออกกำลังกายในครั้งต่อไป โดยสิ่งที่พิจารณาเกี่ยวกับกระบวนการกำจัดหรือเคลื่อนย้ายกรดแลคติกนี้คือ 1) ในการกำจัดกรดแลคติกที่สะสมจะใช้เวลานานเท่าไร 2) มีปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการกำจัด และ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างการกำจัดกรดแลคติกในระหว่างระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (recovery) และการจ่ายคืนหนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (lactacid oxygen debt) และจากการศึกษาพบว่า 95% ของกรดแลคติกที่สะสมอยู่ จะถูกกำจัดออกใน 1 ชั่วโมง 15 นาที ในระยะพักของการฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย (rest-recovery) จากการออกกำลังกายที่ระดับ maximal exercise (Fox & Mathews, 1985)

ส่วนหนึ่งของกรดแลคติกที่สร้างขึ้นและกระจายตัวออกสู่กระแสโลหิตจะถูกควบคุมปริมาณ (Buffer) โดยไบคาร์บอเนตไอออนในโลหิตอย่างไรก็ดีการมีกรดชนิดนี้มากจะทำให้ค่า pH ในกระแสโลหิตลดต่ำลง (pH ของโลหิตอาจลดลงถึง 7.0 หรือในบางรายอาจถึง 6.8) นั่นคือก่อให้เกิดภาวะความเป็นกรดในโลหิตมากขึ้น ดังนั้น การออกกำลังกายหนักจึงเป็นผลให้เกิดภาวะที่เรียกว่า hyperpnea และผลสุดท้ายก็ dyspnea (ภาวะที่เราหายใจถี่และลึก) ดังนั้นเราอาจสรุปได้ในตอนนี้ว่า เครื่องกระตุ้นอย่างหนึ่งที่ทำให้เราหายใจหนักหลังการออกกำลังกายหนักคือ ภาวะการมีกรดสูงในโลหิต

ในระยะ 2 - 3 นาทีของการออกกำลังกายหนักนั้น กรดแลคติกอาจถูกผลิตขึ้นมากถึง 100 mg% หรืออาจมากกว่าในผู้ที่รูปร่างกายไม่ฟิต กรดแลคติกฟุ้งกระจายโดยเสรีสู่ของเหลวอื่น ๆ ของร่างกายในขณะพักผ่อน กรดแลคติกส่วนใหญ่ (ประมาณ 85%) จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยตับให้กลายเป็นไกลโคเจน (โดยที่ไตอาจช่วยตับทำหน้าที่เปลี่ยนแปลงสิ่งดังกล่าวด้วย) และกลูโคสได้อีก โดยผ่านวัฏจักรที่เรียกว่า Cori หรือ Lactic acid cycle เหตุที่ตับและไตมีบทบาทในกระบวนการ gluconeogenesis (การสังเคราะห์ไกลโคเจนจากแหล่งที่ไม่ใช่กลูโคสที่อาจสังเคราะห์จากกรดแลคติก ไขมัน หรือโปรตีน) ก็เพราะกระบวนการ gluconeogenesis ไม่สามารถเกิดขึ้นได้ในกล้ามเนื้อของสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนม ดังนั้นตับและไตจึงต้องทำหน้าที่นี้แทน นอกจากตับและไตจะทำหน้าที่ลดกรดแลคติกด้วยวิธีดังกล่าวแล้ว บางส่วนของกรดแลคติกยังถูกใช้โดยกล้ามเนื้อหัวใจและกล้ามเนื้อลายทั่ว ๆ ไป ดังนั้นการที่จะพูดลอย ๆ ว่า กรดแลคติกเป็นกรดที่ไม่มีประโยชน์นั้นเป็นสิ่งที่ไม่ถูกต้องนัก แต่เราควรพูดว่าการที่มีกรดแลคติกในเลือดมากเกินไปจะทำให้การหดตัวของกล้ามเนื้อดำเนินต่อไปไม่ได้ เพราะจะไปยับยั้งการเผาผลาญไกลโคเจนและกรดไขมันซึ่งเป็นแหล่งที่ใช้สังเคราะห์ ATP และยังมีฤทธิ์ที่จะไปกระตุ้นศูนย์ควบคุมต่าง ๆ ในสมอง เช่น ศูนย์ควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย ศูนย์ควบคุมการหายใจ เป็นต้น

นอกจากนั้นนิวแมน และคณะ (Newman et al., 1937 อ้างถึงใน ประทุม ม่วงมี, 2527) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของกรดแลคติก จะลดลงเร็วยิ่งขึ้นหากนักกีฬาออกกำลังกายเบา ๆ ภายหลังการออกกำลังกายหนักได้สิ้นสุดลง การค้นพบนี้ก็น่าเชื่อตรงที่ว่า ขณะออกกำลังกายเบา ๆ (ซึ่งร่างกาย ไม่สร้างกรดแลคติกเพิ่มขึ้น) กระแสโลหิตไหลเวียนเร็วกว่าขณะอยู่เฉย ๆ จึงมีออกซิเจนไปช่วยเผาผลาญกรดแลคติกมากขึ้น นอกจากนั้นยังน่าจะทำให้กรดแลคติกถูกขนส่งไปยังตับ ไต หัวใจได้เร็วขึ้น ทำให้ปริมาณของกรดแลคติกในร่างกายลดลงสู่ปริมาณปกติเร็วขึ้น

แมคจี (McGee, 1992) กล่าวว่า ค่าปกติของปริมาณแลคเตทในเลือด ขณะพัก มีค่าระหว่าง 0.5 - 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร ขณะออกกำลังกายจนหมดแรง จะพบว่ามีปริมาณแลคเตทในเลือด มีค่า 20 - 25 มิลลิโมลต่อลิตร (Mainwood & Renaud, 1985) และพบว่ามีมากถึง 30 มิลลิโมลต่อลิตร (Hermansen & Stensvold, 1972) จากการศึกษาของแมคจี (McGee et al., 1992) พบว่าปริมาณแลคเตทในเลือดมีค่าสูงสุด ประมาณ 5 นาทีหลังออกกำลังกาย หลังจากนั้นจะถูกสลายและลำเลียงไปกับกระแสเลือด นอกจากนี้พบว่ากิจกรรมเบา ๆ หลังออกกำลังกาย จะช่วยเร่งการสลายของแลคเตทในเลือด สำหรับผู้ที่ได้รับการฝึกทั้งเชิงแอโรบิกและแอนแอโรบิก จะสามารถกำจัดปริมาณแลคเตทในเลือดได้ดีกว่าคนที่ไม่ได้รับการฝึก (McMillan et al., 1993) การฝึกจะทำให้ร่างกายสามารถปรับตัว ให้ระดับแลคเตทในเลือดต่ำกว่าตามระดับความหนักของงานที่ฝึก และผู้ที่ออกกำลังกายสูงสุด (maximal exercise) จะมีปริมาณแลคเตทในเลือดจะสูงกว่า (Jacobs, 1986)

และจากการศึกษาของมาซี และคณะ (Masi et al., 2007) พบว่าการฟื้นตัวหลังออกกำลังกายด้วยวิธีปั่นจักรยานในน้ำ ทำให้ปริมาณแลคเตทในเลือดลดลงดีกว่าการปั่นจักรยานบนพื้น

สรุปได้ว่า ค่าปกติของปริมาณแลคเตทในเลือด ขณะพัก มีค่าระหว่าง 0.5 - 2.2 มิลลิโมลต่อลิตร หรือประมาณ 10 mg% ขณะออกกำลังกายจนหมดแรง จะพบว่ามีปริมาณแลคเตทในเลือดมีค่า 20 - 30 มิลลิโมลต่อลิตร ในขณะที่ออกกำลังกายกรดแลคติกจะถูกสร้างขึ้นในระยะ 2-3 นาทีของการออกกำลังกายหนัก ซึ่งกรดแลคติกอาจถูกผลิตขึ้นมากถึง 100 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ (mg%) หรืออาจมากกว่าในผู้ที่ร่างกายไม่ฟิต สำหรับการเคลื่อนย้ายกรดแลคติก (Lactic Acid Removal) และการใช้หนี้ออกซิเจนในระยะหลัง (Lactacid Oxygen Debt) ในช่วงของการฟื้นตัวหลังการออกกำลังกาย เป็นการเคลื่อนย้ายกรดแลคติกจากกล้ามเนื้อและเลือดที่จำเป็นต้องใช้พลังงานในการเคลื่อนย้าย โดยพลังงานส่วนใหญ่ได้มาจากระบบการสร้างพลังงานที่มีออกซิเจนอย่างเพียงพอ กรดแลคติกสามารถที่จะเปลี่ยนแปลงกลับไปเป็นไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และกรดแลคติกจะถูกเปลี่ยนไปเก็บไว้ในส่วนต่าง ๆ ของร่างกายเช่น ไกลโคเจนในตับ กลูโคสในเลือด และเปลี่ยนเป็นคาร์บอนไดออกไซด์กับน้ำ ในส่วนอื่น ๆ กรดแลคติกสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในการเผาผลาญอาหาร โดยการแตกตัวของพลังงานที่ใช้หนี้ออกซิเจน เพื่อจัดเตรียมเอทีพี (ATP) ที่กระดูก กล้ามเนื้อ หัวใจ ตับและเนื้อเยื่อไต สามารถเปลี่ยนกรดแลคติกให้กลับเป็นเชื้อเพลิงได้ นอกจากนี้กรดแลคติกจะถูกผลิตขึ้นมาขณะการออกกำลังกายแต่ต้องใช้เวลาในการฟุ้งกระจายในกล้ามเนื้อออกไปสู่กระแสโลหิตและเนื้อเยื่อภายในร่างกาย ดังนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณสูงสุดที่แท้จริงของกรดชนิดนี้จึงจำเป็นต้องนำตัวอย่างเลือดมาวิเคราะห์ปริมาณบ่อย ๆ ในช่วงเวลา 5 - 10 นาที หลังการออกกำลังกาย นอกจากนั้นอาจสังเกตได้จากปริมาณของกรดแลคติกที่ลดลงทีละน้อยนั้นต้องใช้เวลาราว 1 ชั่วโมงหรือมากกว่าก่อนที่จะลดปริมาณลงสู่ระดับปกติ

ตอนที่ 2 น้ำและการชดเชยน้ำในนักกีฬา

1. ความสำคัญของน้ำ (The Importance of Fluid)

น้ำได้รับการยอมรับว่าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับชีวิตมนุษย์มาตั้งแต่สมัยโบราณ โดยร่างกายมนุษย์ประกอบด้วยน้ำประมาณร้อยละ 60 ของน้ำหนักตัว หรือประมาณร้อยละ 45 - 75 ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของร่างกาย (EFSA, 2008) ส่วนองค์ประกอบของน้ำในร่างกายร้อยละ 75 ของน้ำหนักตัวจะอยู่ในกล้ามเนื้อ ส่วนที่เหลือประมาณร้อยละ 20 - 25 ของน้ำหนักตัวอยู่ในไขมันของร่างกาย (Brown, Miller & Eason, 2006) โดยองค์ประกอบของน้ำในร่างกายมีแนวโน้มจะสูงในผู้ที่มีมวลไขมันต่ำและไกลโคเจนในกระดูกสูง เช่น นักกีฬา (Neufer et al., 1991) ในทำนองเดียวกันเพศชายมักจะมีน้ำ

ในร่างกายสูงกว่าเพศหญิง เพราะเพศชายมีเปอร์เซ็นต์ไขมันในร่างกายต่ำกว่าเพศหญิง (Gyton & Hall, 2001)

น้ำเป็นส่วนประกอบของเซลล์ น้ำย่อย และฮอร์โมน น้ำเป็นตัวทำละลายเป็นตัวนำพา สารต่าง ๆ ไปสู่อวัยวะของร่างกาย และช่วยในการรักษาความสมดุลของร่างกาย จึงกล่าวได้ว่า น้ำมีความสำคัญอย่างมากสำหรับนักกีฬา น้ำที่ให้นักกีฬาดื่มนั้นควรเป็นน้ำเย็นดีกว่าน้ำอุ่น เพราะช่วยในการดูดซึมแทนที่น้ำในร่างกายได้เร็วกว่า และช่วยลดอุณหภูมิในร่างกาย (กองโภชนาการ กรมอนามัย, 2539)

เมอร์เรย์ (Murray, 1995) ได้อธิบายว่า ภาวะขาดน้ำเป็นตัวรบกวนทางสรีรวิทยาการ ออกกำลังกาย อันจะเป็นเหตุให้เกิดความเมื่อยล้าขณะออกกำลังกาย ซึ่งอาจจะเป็นภัยคุกคามถึงแก่ชีวิตได้ นอกจากนี้การที่ร่างกายมีอุณหภูมิสูงขึ้น จากการออกกำลังกายก็เป็นตัวกระตุ้นหนึ่งที่ทำให้เพิ่ม การไหลเวียนของเลือดไปยังผิวหนัง และทำให้เกิดการหลั่งเหงื่อ (sweating) น้ำในร่างกายจึงเป็น ตัวตอบสนองในการรักษาอุณหภูมิของร่างกาย ในขณะที่การขาดน้ำเพียงเล็กน้อย ก็มีผลต่อระบบ หัวใจและหลอดเลือด รวมทั้งการรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้ลดลง

อาร์มสตรอง และเอปส์ไตน์ (Armstrong & Epstein, 1999) ได้อธิบายว่าความสมดุลน้ำ และอิเล็กโทรไลต์ของร่างกาย มีความสำคัญต่อการทำงานทางสรีรวิทยาและสุขภาพอย่างยิ่ง ระหว่างออกกำลังกาย การทำงาน หรืออุณหภูมิของสภาพแวดล้อมสูง จะมีผลทำให้เพิ่มการขาดน้ำ ของร่างกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสามารถเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนของน้ำภายนอกเซลล์และ ภายในเซลล์ แม้ว่าจะมีการดื่มน้ำสมํ่าเสมอ ทำให้ความสามารถทางกายและสมองมีประสิทธิภาพ ลดลง เมื่อขาดน้ำร้อยละ 1 - 2 และถ้าร่างกายสูญเสียน้ำร้อยละ 7 อาจเสียชีวิตได้ เนื่องจาก ความต้องการน้ำและปริมาณน้ำที่ดื่มแตกต่างกัน เป็นที่ทราบกันดีว่าการสูญเสียน้ำจากการหลั่งเหงื่อ ทำให้สามารถทำนายความต้องการสารน้ำ สำหรับผู้ที่ทำงานในโรงงานอุตสาหกรรม นักกีฬา และทหาร นอกจากนี้ความไม่สมดุลของโซเดียม อาจจะเป็นผลมาจากการสูญเสียโซเดียมอย่างมาก หรือจากภาวะ น้ำในร่างกายมากเกินไป (over hydration gross) ดังนั้นในการออกกำลังกายที่ยาวนานมากกว่า 3 - 4 ชั่วโมง จะต้องตระหนักว่าน้ำมีความสำคัญต่อการป้องกันการเจ็บป่วยที่เกี่ยวข้องกับความร้อน ถ้าร่างกายสูญเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์ จะสามารถป้องกันได้โดยการรักษาสมดุลของการดื่มน้ำ ให้เพียงพอกับน้ำที่ร่างกายเสียไป

วูด (Wood, 2008) กล่าวว่า น้ำเป็นสิ่งสำคัญสำหรับผู้ออกกำลังกายเพื่อทดแทนของเหลว ที่สูญเสียทางเหงื่อออก เพื่อหลีกเลี่ยงภาวะขาดน้ำ ขณะออกกำลังกายโดยเฉพาะในที่ที่มีอากาศร้อน มีเหงื่อออกมาก อาจจะทำให้เกิดการสูญเสียทั้งของเหลวในร่างกายและอิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียม

และคลอไรด์ นอกจากนี้ปริมาณน้ำสูญเสียจากร่างกายไม่เพียงขึ้นอยู่กับอุณหภูมิสิ่งแวดล้อม แต่ใน ความชื้นด้วยเช่นกัน การสูญเสียในน้ำร่างกายจึงอาจนำไปสู่ปัญหาสุขภาพได้

นอกจากนี้ Wood (2008) ได้อธิบายว่า อุณหภูมิของน้ำดื่มควรเป็นน้ำเย็น จะทำให้ ของเหลวดูดซึมผ่านออกจากกระเพาะได้เร็วขึ้น ดังนั้นหากต้องมีการแข่งขันหรือฝึกในที่ร้อน ควรมีการดื่มน้ำขณะที่ออกกำลังกาย ประมาณ 1 - 2 แก้ว ทุก 15 - 20 นาที และดื่มทดเชยน้ำที่ ร่างกายสูญเสียไปทันทีหลังจากการออกกำลังกาย

ส่วนถนอนมวงศ์ กฤษณ์เพ็ชร (2548) ได้กล่าวว่า น้ำมีความสำคัญต่อร่างกายทุกระบบ โดยเฉพาะการย่อยอาหารและการขับถ่าย การระบายความร้อนมีความจำเป็นมากเมื่อร่างกายทำงานหนัก หรือเล่นกีฬา การหลั่งเหงื่อเป็นวิธีการระบายความร้อนของร่างกายที่ได้ผลดีที่สุด โดยปกติ ร่างกายต้องการน้ำ 6 - 8 แก้วต่อวัน น้ำที่สูญเสียโดยมิได้มีการทดแทนเพียง 1% ของน้ำหนักตัว จะทำให้ประสิทธิภาพในการทำงาน การเล่นกีฬาจะเริ่มลดลง หัวใจเต้นเร็วและอ่อนเพลีย สาร ที่ออกมาจากการหลั่งเหงื่อคือ โซเดียม โปแตสเซียม แอมโมเนีย กรดแลคติก กรดไพรูวิก และ กรดยูริก เป็นต้น ถ้าสูญเสียเหงื่อมาก 6 - 8% ของน้ำหนักร่างกาย จะทำให้อยู่ในสภาพขาดน้ำ (dehydration) เพื่อป้องกันสภาพขาดน้ำ ควรให้น้ำแก่นักกีฬาทั้งก่อน ขณะ และหลังแข่งขัน

สรุปได้ว่าน้ำเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับมนุษย์ โดยร่างกายมีน้ำเป็นส่วนประกอบถึงประมาณ ร้อยละ 60 ของน้ำหนักตัว ซึ่งในแต่ละวันมนุษย์มีความต้องการน้ำในปริมาณที่เพียงพอ อย่างน้อย ประมาณ 6 - 8 แก้วต่อวัน อันจะส่งผลให้ร่างกายและจิตใจสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีสุขภาพที่ดี นอกจากนี้ น้ำยังมีบทบาทสำคัญในการทำงานร่างกาย ช่วยในการหดตัวของ กล้ามเนื้อ รักษาปริมาณเลือดและควบคุมอุณหภูมิของร่างกาย เมื่อออกกำลังกาย แข่งขันหรือ ฝึกหนัก และในสภาพอากาศที่ร้อนจะทำให้ร่างกายจะเพิ่มการสูญเสียน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะทางการ หลั่งเหงื่อ ดังนั้น จึงควรดื่มน้ำเพิ่มเติมในระหว่างออกกำลังกาย แข่งขัน หรือฝึกด้วยน้ำเย็น ประมาณ 1 - 2 แก้วทุก 15 - 20 นาที และดื่มทันทีหลังออกกำลังกายเพื่อเป็นการชดเชยน้ำให้แก่ร่างกาย

2. ความต้องการน้ำของร่างกาย (Fluid Requirements)

ความต้องการน้ำในผู้ใหญ่ปกติ โดยเฉลี่ยประมาณ 2.5 ลิตรต่อวัน เพื่อรักษาสมดุลน้ำ ในร่างกาย โดยปริมาณน้ำที่ได้รับมาจากการดื่ม คิดเป็นร้อยละ 60 - 65 จากอาหารคิดเป็นร้อยละ 25 - 30 และจากเมตาโบลิซึม (metabolism) คิดเป็นร้อยละ 10 (EFSA, 2008) นอกจากนี้เมอร์เรย์ (Murray, 2007) ได้กล่าวว่า ความต้องการน้ำของมนุษย์ จะมีความแตกต่างกันระหว่างแต่ละบุคคล และแต่ละสภาพของการออกกำลังกาย โดยการสูญเสียน้ำของร่างกายส่วนใหญ่ได้รับผลมาจาก ปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- พันธุกรรม (Genetics)
- ขนาดของร่างกาย (Body size)
- ความฟิตของร่างกาย (Fitness)
- สิ่งแวดล้อม (Environment)
- ความเข้มข้นของการออกกำลังกาย (Exercise intensity)
- ระยะเวลาของการออกกำลังกาย (Exercise duration)
- เสื้อผ้า (Clothing)

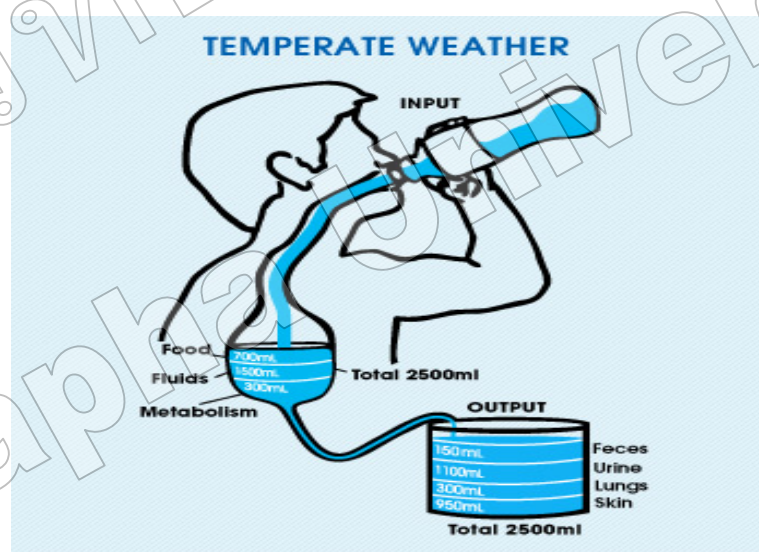
ลาสซกา และมอนเทน (Latzka & Montan, 1999) ได้อธิบายว่า เมื่อร่างกายขาดน้ำ จะทำให้ประสิทธิภาพของการออกกำลังกายลดลง โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อออกกำลังกายในอากาศ ร้อน จึงแนะนำให้ให้นักกีฬาดื่มน้ำอย่างเพียงพอ ก่อนออกกำลังกาย 2 ชั่วโมง ควรดื่มน้ำประมาณ 400 - 600 มิลลิลิตร และดื่มน้ำระหว่างการออกกำลังกาย เพื่อป้องกันการขาดน้ำ จำนวน 150 - 300 มิลลิลิตร ทุก 15 - 20 นาทีของการออกกำลังกาย ซึ่งปริมาณจะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับอัตราการขับเหงื่อของแต่ละคน สำหรับการออกกำลังกาย ที่ระยะเวลาน้อยกว่า 90 นาที สามารถดื่มน้ำเพียงอย่างเดียวก็เพียงพอ แต่ถ้าหากออกกำลังกายนานกว่า 90 นาที ควรดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมคาร์โบไฮเดรตและอิเล็กโทรไลต์ เพื่อให้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงในการออกซิเดชันคาร์โบไฮเดรต และการขึ้นระยะของการออกกำลังกาย

นอกจากนี้แมค อาร์เดิล, แคท และแคท (Mc Ardle, Katch & Katch, 2009) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า ก่อนออกกำลังกาย 20 นาที ควรดื่มน้ำ จำนวน 400 - 600 มิลลิลิตรเพื่อให้กระเพาะอาหารมีน้ำและสารอาหารที่จะลำเลียงไปกล้ามเนื้อเพิ่มขึ้น และควรดื่มน้ำจำนวน 150 - 250 มิลลิลิตร ทุก ๆ 15 นาที ระหว่างออกกำลังกาย เพื่อเป็นการเติมน้ำอย่างต่อเนื่อง จากข้อเสนอแนะนี้ จะทำให้นักกีฬาได้รับสารน้ำประมาณ 1 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งการได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอ จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับนักกีฬาที่ใช้ความอดทน

บราวน์ และคณะ (Brown et al., 2006) กล่าวว่า น้ำในร่างกายจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ร่างกายจึงจำเป็นต้องมีการรักษาสมดุลของน้ำ ซึ่งสามารถพิจารณาทั้งที่รับเข้าและขับออกจากร่างกาย ดังในตารางที่ 2-2

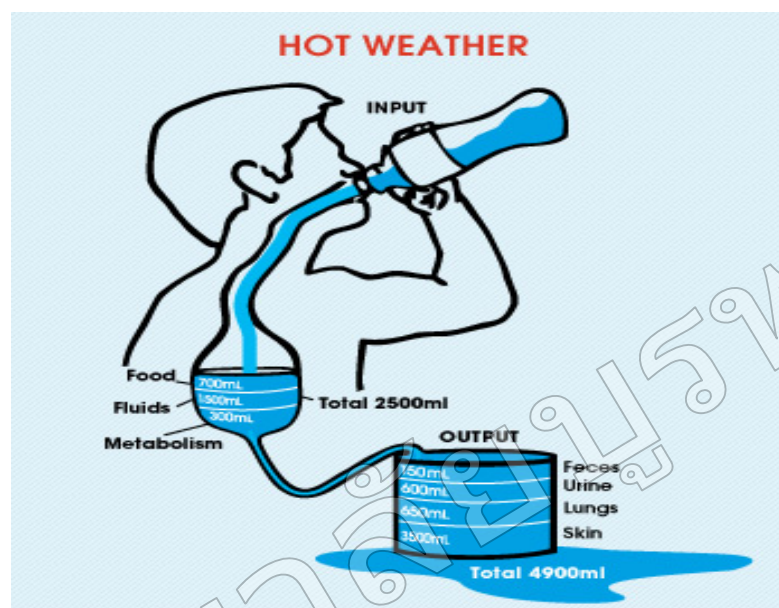
ตารางที่ 2-2 ปริมาณของเหลวที่รับเข้าและขับออกจากร่างกาย เพื่อรักษาสมดุลของน้ำในร่างกาย

ปริมาณน้ำที่รับเข้าในร่างกาย		ปริมาณน้ำที่ขับออกจากร่างกาย		
สภาวะปกติ		สภาวะปกติ		สภาวะที่มีอากาศร้อน และออกกำลังกาย
ที่มา	จำนวน (มิลลิลิตร)	ที่มา	จำนวน (มิลลิลิตร)	จำนวน (มิลลิลิตร)
ของเหลว	1,400	ปัสสาวะ	1,500	500
อาหาร	800	ผิวหนัง	600	5,000
เมตาโบลิซึม	350	ปอด	350	700
		อุจจาระ	100	100
รวม	2,550		2,550	6,300



ภาพที่ 2-3 ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับเข้าและขับออกในแต่ละวัน ในสภาพอากาศปกติ

(<http://www.216.64.209.97/default/feature/fe...re1.html>)



ภาพที่ 2-4 ปริมาณน้ำที่ร่างกายได้รับเข้าและขับออก ในสภาพอากาศร้อน

(<http://www.216.64.209.97/default/feature/fe...re1.html>)

นอกจากนี้จากภาพที่ 2-3 - 2-4 แสดงให้เห็นว่ามนุษย์มีความต้องการน้ำที่แตกต่างกันระหว่างแต่ละบุคคล แต่ละสภาพของการออกกำลังกาย ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าในผู้ใหญ่ปกติความต้องการน้ำ โดยเฉลี่ยประมาณ 2,500 มิลลิลิตรต่อวัน โดยร่างกายจะได้รับเข้าจากทางอาหาร น้ำ (ของเหลว) ทางกระบวนการเมตาโบลิซึม เป็นต้น และจะมีการขับถ่ายออกได้หลายทาง เช่น ทางปัสสาวะ ทางอุจจาระทางผิวหนัง (เหงื่อ) และทางปอด (การหายใจ) เป็นต้น เพื่อรักษาสสมดุลน้ำในร่างกาย ในขณะเดียวกันถ้ามีการออกกำลังกายหรือทำงานในสภาพอากาศร้อน จะทำให้ร่างกายขับน้ำออกจากร่างกายมากกว่าดื่มเข้าไป โดยเฉลี่ยประมาณ 4,900 - 6,300 มิลลิลิตรต่อวัน ดังนั้นนักกีฬาจึงมีความต้องการน้ำมากขึ้น เมื่อออกกำลังกายในอากาศร้อน นักกีฬาควรดื่มน้ำอย่างเพียงพอ ก่อนออกกำลังกาย 2 ชั่วโมงหรือก่อนออกกำลังกาย 20 นาที ควรดื่มน้ำจำนวน 400 - 600 มิลลิลิตร ระหว่างการออกกำลังกายควรดื่มน้ำ เพื่อป้องกันการขาดน้ำ จำนวน 150-300 มิลลิลิตร ทุก 15 - 20 นาที และหลังจากออกกำลังกายควรดื่มน้ำเพื่อชดเชยน้ำที่สูญเสียไปตามความต้องการของร่างกายอย่างเพียงพอ

3. การสูญเสียน้ำของร่างกาย (Fluid Loss)

น้ำออกจากร่างกายได้หลายวิธี เช่นทางปัสสาวะ ทางอุจจาระ ทางเหงื่อ และการหายใจ โดยปริมาณน้ำที่เราต้องการขณะออกกำลังกายขึ้นอยู่กับน้ำที่เราสูญเสียไป เพื่อชดเชยการขาดน้ำ ในปริมาณน้ำที่เท่ากับจำนวนน้ำที่หายไประหว่างการออกกำลังกาย (ดังแสดงในตารางที่ 2-2)

ไคมิบพบาทสำคัญในการรักษาสมดุลน้ำภายในร่างกาย โดยทำหน้าที่ควบคุมการสูญเสีย น้ำจากกระบวนการผลิตปัสสาวะ ซึ่งจะช่วยลดปริมาณของปัสสาวะลงเมื่อร่างกายต้องการสงวน น้ำไว้ และจะเพิ่มปริมาณปัสสาวะขึ้นเมื่อร่างกายมีน้ำมากเกินไป นอกจากนี้การทำงานของ กล้ามเนื้อระหว่างการออกกำลังกาย จะใช้น้ำประมาณร้อยละ 25 ของน้ำในร่างกาย ส่วนที่เหลือถูก ปลดปล่อยเป็นความร้อน (Heat) โดยอาศัยหลักในการช่วยรักษาอุณหภูมิของร่างกายให้เย็นลง ด้วยการหลั่งเหงื่อ (Sweating) ซึ่งความร้อนจากการทำงานของกล้ามเนื้อจะถูกถ่ายโอนไปยังกระแส โลหิต ทำให้มีการไหลเวียนของเลือดไปที่ผิวหนังเพิ่มขึ้น และความร้อนจะระเหยกลายเป็นเหงื่อ ซึ่งเหงื่อก็ดำรงน้ำในร่างกายนั่นเอง ดังนั้นมนุษย์จึงมีความจำเป็นต้องดื่มน้ำทดแทน เพื่อป้องกันการขาดน้ำ ยิ่งไปกว่านั้นถ้าออกกำลังกายในขณะที่ร่างกายมีภาวะขาดน้ำ (Dehydrate) จะทำให้อุณหภูมิ ร่างกายเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว และก่อให้เกิดอาการเป็นลมแดด (Heat stroke) ได้ (Maughan & Murray, 2001; Coyle, 2004; Sawka et al., 2007)

เรห์เออร์ และเบิร์ก (Rehrer & Burke, 1996) กล่าวว่า ระหว่างการออกกำลังกายเบา ๆ ในสภาพอากาศที่อุณหภูมิ 20 - 25 °C จะมีอัตราการหลั่งเหงื่อ (Sweating) เพียงเล็กน้อยประมาณ 100 มิลลิลิตรต่อชั่วโมง แต่ในระหว่างการออกกำลังกายอย่างหนักในสภาพอากาศร้อนที่อุณหภูมิ 30 °C ขึ้นไป บางคนอาจมีการหลั่งเหงื่อมากกว่า 3 ลิตรต่อชั่วโมง ซึ่งอัตราการหลั่งเหงื่อที่มากกว่า 1.5 ลิตร ต่อชั่วโมง มีแนวโน้มที่จะนำไปสู่การขาดน้ำ และลดประสิทธิภาพการทำงานของร่างกายอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้เรห์เออร์ (Rehrer, 1994) ได้อธิบายว่า การหลั่งเหงื่อเป็นวิธีที่ร่างกาย รักษาอุณหภูมิของร่างกายที่ 37 °C ซึ่งผลของการสูญเสียน้ำและอิเล็กโทรไลต์ เช่น คลอไรด์ แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม และโปแตสเซียม ถ้านักกีฬาไม่หมั่นสำรวจภาวะน้ำในร่างกายอย่างสม่ำเสมอ จะนำไปสู่ภาวะขาดน้ำ ทำให้มีผลต่อการทำงานของระบบไหลเวียนโลหิต ช็อก หมดสติ และอาจ เป็นอันตรายถึงชีวิตได้ (circulatory collapse and heat stroke) และนอกจากนี้มานอร์ และทอมป์สัน (Manore & Thompson, 2000) ได้อธิบายผลของการสูญเสียน้ำในร่างกาย ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 เปรียบเทียบผลของการขาดน้ำกับผลกระทบทางสรีรวิทยาการออกกำลังกาย

(Rehrer, 1994; Manore & Thompson, 2000)

% ของน้ำหนักตัวหายไป (% of body weight loss)	ผลกระทบทางสรีรวิทยา
1%	รู้สึกกระหายน้ำ, อุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้น ทำให้ความสามารถการทำงานของร่างกายลดลง
2%	กระหายน้ำมากขึ้น, อึดอัด ไม่สบาย, ไม่อยากอาหาร
3%	ปากแห้ง, ปัสสาวะน้อย, ความหนืดของเลือดเพิ่มขึ้น
4%	ความสามารถการทำงานของกล้ามเนื้อลดลง 20 - 30%
5%	ไม่จดจ่อกับอะไร, ปวดศีรษะ, เบลอ, ซึม
6%	อุณหภูมิร่างกายสูงเพิ่มมากขึ้น, อัตราการหายใจเพิ่มขึ้น, รู้สึกขาปลายมือปลายเท้า
7%	ร่างกายอาจจะวูบได้
10%	ช็อก หมดสติ อาจเกิดอันตรายถึงเสียชีวิตได้

สามารถสรุปได้ว่า มนุษย์มีการสูญเสียน้ำออกจากร่างกายหลายทาง เช่นทางปัสสาวะ อุจจาระ เหงื่อ และการหายใจ ดังนั้นนักกีฬาจึงต้องรักษาสมดุลน้ำในร่างกายอย่างต่อเนื่อง เพื่อปรับรูปแบบการดื่มน้ำกับการสูญเสียเหงื่อจากการออกกำลังกายให้สมดุลและเพียงพอกับความต้องการน้ำของร่างกาย ซึ่งหากร่างกายมีภาวะขาดน้ำอาจจะนำไปสู่การเสียสมดุลของร่างกาย ทำให้เกิดผลทางสรีรวิทยา ทำให้สมรรถภาพทางกายลดลง และอาจจะเป็นอันตรายถึงชีวิตได้

4. การทดแทนน้ำ (Fluid Replacement)

การฟื้นฟูและรักษาสมดุลน้ำของร่างกาย ระยะหลังออกกำลังกายมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะนักกีฬาที่ออกกำลังกายในที่ร้อน และความชื้นสูง ซึ่งจะทำให้เกิดการหลังเหงื่อสูงขึ้น การเติมน้ำให้แก่ร่างกายหลังออกกำลังกาย ควรดื่มน้ำที่มีส่วนผสมของอิเล็กโทรไลต์ด้วย เพราะร่างกายสูญเสียเหงื่อ โดยปริมาณของสารอิเล็กโทรไลต์ที่ผสมในน้ำดื่ม เช่น โซเดียม ควรเติมปริมาณ 50 มิลลิโมลต่อน้ำ 1 ลิตร และโปแตสเซียมบ้างเล็กน้อย (Maughan & Shirreffs, 1997)

จากการวิจัยของเบริกเกอร์, มุลซ์ และเคนนีย์ (Baker, Munce & Kenney, 2005) และ คอยล์ (Coyle, 2004) ได้แสดงให้เห็นว่า การดื่มน้ำเพียงอย่างเดียวไม่ใช่ทางออกที่ดีที่สุดของการชดเชยน้ำในระหว่างหรือหลังการออกกำลังกายอย่างหนัก มีสาเหตุหลายประการที่ว่าทำไมเครื่องดื่มกีฬาจึงมีประโยชน์กว่าดื่มน้ำธรรมดา ในระหว่างการออกกำลังกาย ประการที่ 1 การขาดน้ำ (Dehydration) ระหว่างการออกกำลังกาย ซึ่งเป็นที่ทราบกันว่าการขาดน้ำในขณะที่ออกกำลังกาย จะทำให้ลดความสามารถทางกาย และอุณหภูมิของร่างกายเพิ่มขึ้น ประการที่ 2 เครื่องดื่มนักกีฬาจะมีการเติมสารให้พลังงาน (เชื้อเพลิง) (supply of fuel) เข้าไปด้วย และช่วยในการดูดซึมของเหลวในร่างกาย (Maughan et al., 2007) เมื่อร่างกายมีเชื้อเพลิง (fuel) ที่จำกัด หรือมีภาวะขาดน้ำ จะทำให้ความสามารถในการออกกำลังกายลดลง ดังนั้นการดื่มนักกีฬาก็จะเป็นการได้เปรียบกว่าดื่มน้ำธรรมดา ทั้งนี้เนื่องจากเครื่องดื่มนักกีฬาก็มีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตและเกลือแร่ ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมของเหลว และเติมคาร์โบไฮเดรตเข้าไปให้เป็นเชื้อเพลิงต่อการทำงาน กล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว และช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตที่เติมอิเล็กโทรไลต์ (โซเดียม) เพิ่มเข้าไป จะช่วยในการดูดซึมของเหลวของลำไส้ ซึ่งป้องกันภาวะขาดน้ำในระหว่างออกกำลังกาย ช่วยให้ร่างกายเก็บรักษาและใช้น้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่า ภายหลังจากการออกกำลังกายควรมีการชดเชยน้ำให้แก่ร่างกาย และน้ำที่ดื่มให้ร่างกายหลังออกกำลังกายนั้น ควรมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต และเกลือแร่ เช่น โซเดียม เพื่อช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมของเหลว และเติมคาร์โบไฮเดรตเข้าไปให้เป็นเชื้อเพลิงต่อการทำงาน กล้ามเนื้อได้อย่างรวดเร็ว และช่วยเพิ่มสมรรถภาพทางกายได้ดียิ่งขึ้น

5. การทำให้อาหารผ่านกระเพาะและการดูดซึมน้ำ (Gastric Emptying and Fluid Absorption)

เมื่อมนุษย์ดื่มน้ำเข้าไปในร่างกาย น้ำจะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก เพื่อลำเลียงไปสู่เซลล์ของร่างกายและกระแสโลหิต โดยอัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะมีผลต่อความสามารถในการดูดซึมของน้ำและสารอาหารในลำไส้เล็ก เช่น กลูโคสและโซเดียม เป็นต้น ซึ่งสมทรง เลขะกุล (2536) ได้อธิบายไว้ว่า เวลาอาหารผ่านกระเพาะ (gastric emptying time) ของอาหารแต่ละชนิดจะเร็วช้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับชนิดของอาหารที่มีผลต่อการบีบตัวของกระเพาะ โดยอาหารเหลวจะผ่านเร็วกว่าอาหารแข็ง คาร์โบไฮเดรตผ่านไปเร็วที่สุดคือประมาณ 1 - 2 ชั่วโมง โปรตีน 2 - 3 ชั่วโมง ส่วนไขมันผ่านได้ช้าที่สุด 4 - 6 ชั่วโมง โดยเฉลี่ยแล้วอาหารที่กินกันตามปกติ จะใช้เวลาราว 2 - 5 ชั่วโมง

ดัชนีมาน และคณะ (Duchman et al., 1997) กล่าวว่าไว้ว่า เมื่อดื่มน้ำที่มีความเข้มข้นของ อนุภาคในสารละลายสูงหรือมีปริมาณแคลอรีสูง (Caloric content) จะทำให้สิ่งที่อยู่ในกระเพาะ อาหารถูกถ่ายเทไปสู่ลำไส้เล็กช้าลง โดยอนุภาคเล็ก ๆ จะช่วยลดแรงดันน้ำจากกระเพาะอาหารไป ดูดซึมในลำไส้ นอกจากนี้การเพิ่มคาร์โบไฮเดรต และโซเดียม ปริมาณน้อยลงในเครื่องดื่ม (เช่น เครื่องดื่มนักกีฬา) จะมีผลกระทบต่ออัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Ryan et al., 1998) ดังแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 เปรียบเทียบการทำให้อาหารผ่านกระเพาะ กับ การดูดซึมของเหลวในลำไส้

การทำให้อาหารผ่านกระเพาะ (Gastric emptying)	การดูดซึมของเหลวในลำไส้ (Intestinal fluid absorption)
ปริมาตร (volume): เมื่อปริมาตรของกระเพาะอาหาร เพิ่มขึ้น อัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะจะเพิ่มขึ้น	คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate): เครื่องดื่ม ที่มีส่วนผสมของกลูโคส + โซเดียม ใน ปริมาณน้อยถึงปานกลาง จะเพิ่มการ ดูดซึมของของเหลว
ปริมาณแคลอรี (Caloric content): เมื่อปริมาณแคลอรี เพิ่มขึ้น อัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะลดลง	โซเดียม (Sodium): เครื่องดื่มที่มีโซเดียม ในปริมาณน้อย ถึงปานกลาง จะเพิ่มการ ดูดซึมของของเหลว
ออสโมแลลิตี (Osmolality): เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของ ส่วนผสมของน้ำ ของเหลว อัตราการส่งอาหารผ่าน กระเพาะลดลง	ออสโมแลลิตี (Osmolality): เครื่องดื่ม ไฮโปโตนิก (Hypotonic) และเครื่องดื่ม ไอโซโตนิก (Isotonic) ที่มีส่วนผสมของ โซเดียมและกลูโคส จะเพิ่มการดูดซึม ของของเหลว
การออกกำลังกาย (Exercise): เมื่อความเข้มข้นของ งานที่สูงกว่า 75% ของความเข้มข้นสูงสุด อัตรา การส่งอาหารผ่านกระเพาะลดลง	
ระดับน้ำในร่างกาย (Hydration level): ภาวะขาดน้ำ การทำให้การส่งอาหารผ่านกระเพาะลดลง และเพิ่ม ปฏิกิริยาเสี่ยงของระบบทางเดินอาหารให้เกิด ความเครียด (gastrointestinal distress)	

สรุปได้ว่า เมื่อได้รับน้ำเข้าสู่ร่างกาย น้ำจะถูกดูดซึมผ่านกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก เพื่อลำเลียงไปสู่เซลล์ของร่างกายและกระแสโลหิต ซึ่งอัตราการดูดซึมจะแตกต่างกันในแต่ละบุคคล ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยเช่น ประการที่ 1 อัตราการให้อาหารผ่านกระเพาะ ขึ้นอยู่กับปริมาณ (Volume) ปริมาณแคลอรี (Caloric content) ออสโมแลลิตี (Osmolality) ความเข้มข้นของการออกกำลังกาย (Intensity) และระดับน้ำในร่างกาย (Hydration level) เป็นต้น ประการที่ 2 ความเข้มข้นของสารละลายในน้ำ เช่น คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) โซเดียม (Sodium) และออสโมแลลิตี (Osmolality) เป็นต้น

ตอนที่ 3 เครื่องดื่มนักกีฬา

1. ความสำคัญของเครื่องดื่มนักกีฬาและอิเล็กโทรไลต์

เครื่องดื่มนักกีฬาเป็นเครื่องดื่มที่ออกแบบมาเพื่อช่วยให้นักกีฬา ชดเชยน้ำให้ร่างกาย เพื่อช่วยเติมอิเล็กโทรไลต์ คาร์โบไฮเดรต และสารอาหารอื่น ๆ ที่ใช้หมดไปภายหลังจากการฝึกหรือการแข่งขัน โดยอิเล็กโทรไลต์ จะช่วยชดเชยน้ำให้ร่างกายอย่างเหมาะสม ช่วยลดความเมื่อยล้าในระหว่างออกกำลังกาย ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญในการเป็นตัวเชื้อเพลิงหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อในการออกกำลังกาย ช่วยยืดเวลาในระยะเวลาและสมรรถภาพทางกายของการออกกำลังกาย (Sawka et al., 2007; Casa, 2000) นอกจากนี้เมอร์เรย์ (Murray et al., 1999) ได้ให้คำนิยามว่า เครื่องดื่มนักกีฬาเป็นเครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 8.75% มี osmolality น้อยกว่า 400 mOsm โดยทั่วไปเครื่องดื่มนักกีฬาจัดเป็น 3 ประเภทดังนี้ (Reents, 2007)

- ของเหลว เช่น น้ำ
- อิเล็กโทรไลต์ เช่น โซเดียม โปแตสเซียม และอื่น ๆ
- คาร์โบไฮเดรต เช่น กลูโคส ซูโครส ฟรุคโตส มอลโตสเดกซ์ตริน เป็นต้น

นอกจากนี้สัญญา ร้อยสมมุติ (2535) กล่าวว่า อิเล็กโทรไลต์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของของเหลวในร่างกายมนุษย์ ที่สำคัญในร่างกาย ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ ไบคาร์บอเนต ไฮโดรเจนไอออน pH โปรตีน และไอออนลบอื่น ๆ ซึ่งเมื่ออิเล็กโทรไลต์ละลายน้ำจะแตกตัวให้อิออนต่าง ๆ เช่น Na^+ Cl^- K^+ Ca^{2+} H_2PO_4^- SO_4^{2-} HCO_3^- H^+ และไอออนของกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น (ดังแสดงในตารางที่ 2-5) สำหรับความเข้มข้นของไอออนในของเหลวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย สามารถสรุปได้ว่า Na^+ เป็นไอออนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวนอกเซลล์ ขณะที่ K^+ เป็นไอออน ที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวในเซลล์ ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ดังนี้

1.1 โซเดียม (Na)

โซเดียมเป็นตัวกำหนดออสโมแลลิตี (osmolality) ของของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluid หรือ ECF) และบ่งชี้ปริมาณน้ำในร่างกาย จากการศึกษาพบว่าร่างกายได้รับโซเดียมส่วนมากจากอาหาร โดยอย่างน้อยผู้ใหญ่ควรได้รับประมาณวันละ 100 - 300 mEq หรือ 5 - 15 กรัมต่อวัน อาหารที่ให้โซเดียมได้แก่ นม ไข่ เนื้อ และผักใบเขียว โดยโซเดียมมีหน้าที่สำคัญคือ

- รักษาความดันออสโมลิตีของ ECF และสุดท้ายคือปริมาตรของ ECF
- รักษาสมดุลของไฮโดรเจนไอออนและโปแตสเซียม ผ่านการทำงานของระบบขับถ่าย

ปัสสาวะ

- ช่วยดูดซึมโมโนแซ็กคาไรด์ (monosaccharide) และกรดอะมิโน (amino acids)

ในระบบทางเดินอาหารและระบบขับถ่ายปัสสาวะ

- ช่วยคงสภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย
 - การเกิดแอกชั่นโพเทนเชียล (action potential) ของเซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ประสาท
- นอกจากนี้การเสียโซเดียมออกจากร่างกาย มีโอกาสเสียโซเดียมได้ 4 ทางใหญ่ ๆ คือ

ทางการขับเหงื่อ ทางระบบทางเดินอาหาร ทางระบบขับถ่ายปัสสาวะ และทางหลอดเลือด

ตารางที่ 2-5 ความเข้มข้นของอิเล็กโทรไลต์ในของเหลวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย (สัญญา ร้อยสมมุติ, 2535)

อิเล็กโทรไลต์	พลาสมา	ของเหลวนอกเซลล์	ของเหลวในเซลล์
Na^+	152	143	14
K^+	5	4	157
Ca^{2+}	5	5	(<10 ⁻⁸ M)
Mg^+	3	3	26
Cl^-	113	117	3 (78)*
HCO_3^-	27	27	10
ฟอสเฟต	2 (HPO_4^{2-})	2 (HPO_4^{2-})	113 (PO_4^{3-})
โปรตีน	16	2	74

หมายเหตุ * เซลล์กล้ามเนื้อและเซลล์ทั่ว ๆ ไปมี Cl^- ประมาณ 3 mEq/L แต่ในเม็ดเลือดแดง Cl^- ในเซลล์อาจสูงถึง 78 mEq/L โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหลอดเลือดดำ

1.2 โปแตสเซียม (K)

โปแตสเซียมเป็นอิเล็กโตรไลต์ที่สำคัญภายในเซลล์ เนื่องจากมีปริมาณมากจึงเป็นตัวกำหนดออสโมลาริตี (Osmolarity) ของของเหลวภายในเซลล์ โดยกล้ามเนื้อเป็นแหล่งเก็บโปแตสเซียมไว้มากที่สุดถึงร้อยละ 70 ผิวหนังและเนื้อเยื่อได้ผิวหนังร้อยละ 10 เม็ดเลือดแดงก็มีโปแตสเซียมเก็บไว้มากพอสมควร ความเข้มข้นปกติของโปแตสเซียมในน้ำเลือดคือ 3.5 - 5 mEq/L และความเข้มข้นภายในเซลล์ประมาณ 160 mEq/L และทั้งร่างกายมีประมาณ 42 มิลลิโมลต่อน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม และมีใน ECF เพียง 0.4%

ปกริร่างกายได้รับโปแตสเซียมมาจากการรับประทานอาหาร ซึ่งอาหารที่มีโปแตสเซียมมาก ได้แก่ เนื้อ นม ผักใบเขียว และผลไม้ต่าง ๆ ในวันหนึ่ง ๆ ผู้ใหญ่ควรได้รับโปแตสเซียมประมาณ 50 - 120 mEq (เฉลี่ยประมาณ 100 mEq/วัน) โปแตสเซียมจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางอุจจาระ การหลังโปแตสเซียมเข้าสู่ทางเดินอาหาร และการดูดซึมนั้นมีลักษณะคล้ายเช่นเดียวกับโซเดียม ดังนั้นถ้าการดูดซึมที่ลำไส้ไม่ดี มีอุจจาระร่วงก็จะทำให้มีการเสียโปแตสเซียมได้มากขึ้น อย่างไรก็ตามไตเป็นตัวสำคัญในการขับถ่ายโปแตสเซียมออกจากร่างกายคือ คิดเป็นร้อยละ 90 ของโปแตสเซียมที่ร่างกายต้องการขับทิ้งในแต่ละวัน ด้วยเหตุนี้ถ้าไตทำงานผิดปกติจะทำให้เกิดมีภาวะโปแตสเซียมสูงในร่างกายได้ นอกจากนี้มีข้อควรคำนึงว่าโปแตสเซียมในร่างกายนั้นอาจเพิ่มขึ้นได้จากการแตกทำลายของเซลล์ภายในร่างกายเราเองด้วย หรือจากการเกิดภาวะร่างกายเป็นกรด และอาจต่ำในภาวะร่างกายเป็นด่าง โดยอาศัยการเคลื่อนย้าย K^+ ระหว่างเซลล์กับ ECF แลกกับ H^+ นั่นเอง และหน้าที่สำคัญของโปแตสเซียมคือ

- รักษาความดันออสโมซิสของน้ำภายในเซลล์ (ICF: Intracellular fluid)
- ช่วยให้กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อประสาท (nervous tissue) มีคุณสมบัติการเร้า (excitability)
- ช่วยในการหดตัวของกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะอย่างยิ่งกล้ามเนื้อหัวใจ
- รักษาดุลของไฮโดรเจนไอออน
- ช่วยในปฏิกิริยาเมตาบอลิซึมภายในเซลล์

สำหรับการเสียโปแตสเซียมออกจากร่างกายทางไต โดยไตจะขับโปแตสเซียมออกมากหรือน้อยขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ คือ ปริมาณของโปแตสเซียมในเซลล์ของท่อไตส่วนปลาย (distal nephron) ปริมาณของโซเดียมในโพรทอไตส่วนปลาย ปริมาณไฮโดรเจนไอออนในเซลล์ท่อไต ผลของฮอร์โมนแอนโดรสเตโรน และการเพิ่มอัตราการไหลของของเหลวในท่อไต

1.3 หน่วยที่ใช้วัดความเข้มข้นของสารที่สำคัญ

สัญญา ร้อยสมมุติ (2530) ได้อธิบายไว้ว่า เมื่อพิจารณาผลของสารต่อการทำงานของร่างกายแล้วจะพบว่า การทำปฏิกิริยากันระหว่างสาร จำนวนโมเลกุล จำนวนประจุ หรือจำนวนอนุภาคของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรตัวทำละลายชนิดหนึ่ง เช่น น้ำ มีความสำคัญมากกว่าน้ำหนักสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสารละลาย เพราะสามารถบอกถึงผลทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาได้ดีกว่า ด้วยเหตุดังกล่าวหน่วยที่สำคัญได้แก่ โมล มิลลิอีควิวาเลนต์ และออสโมล

โมล (Moles): หนึ่งโมลของสารชนิดใด ๆ ก็ตาม ก็คือ น้ำหนัก 1 กรัมโมเลกุล ซึ่งมีค่าน้ำหนักเป็นกรัม เท่ากับน้ำหนักโมเลกุลของสารนั้น เช่น 1 โมลของ $\text{NaCl} = 23 + 35.5 = 58.5$ กรัม โดย 1 มิลลิโมล (mmole) = 58.5 มิลลิกรัม โมลเป็นหน่วยวัดมาตรฐานของระบบ เอสไอ (SI) ที่ใช้บ่งถึงปริมาณของสาร และหน่วยความเข้มข้นที่สำคัญในหน่วยนี้คือ โมลา (Molar), 1 โมลา (M) คือ ความเข้มข้นของสารจำนวน 1 โมลในสารละลาย 1 ลิตร

อีควิวาเลนต์ (Equivalents): หนึ่งอีควิวาเลนต์ (Eq) คือ 1 โมลของไอออน (ion) ใด ๆ ก็ตามหารด้วยวาเลนซ์ (valence) หรือค่าของประจุไฟฟ้าของไอออนใน 1 โมลนั้น หนึ่งโมลของ NaCl แตกตัวให้ Na^+ และ Cl^- ไอออนละ 1 Eq โดย Na^+ 1 Eq มีค่าเท่ากับ 23 กรัม/1 = 23 กรัม และ Cl^- 1 Eq = 35.5 กรัม/1 = 35.5 กรัม ส่วน Ca^{2+} 1 Eq = 40 กรัม/2 = 20 กรัม เป็นต้น ส่วนมิลลิอีควิวาเลนต์ (milliequivalent หรือ mEq) ก็คือ 1/1000 ของ 1 Eq นั่นเอง

ออสโมล (Osmoles): หนึ่งออสโมล (Osm) มีค่าเท่ากับน้ำหนักของสารเป็นกรัม หารด้วยจำนวนของอนุภาคอิสระที่โมเลกุลนั้นแตกตัวได้ในสารละลาย ส่วนมิลลิออสโมล (milliosmoles หรือ mOsm) ซึ่งพบมีใช้บ่อย ๆ มีค่าเท่ากับ 1/1000 ของ 1 ออสโมลนั่นเอง หน่วยออสโมลนี้ใช้เพื่ออธิบายคุณสมบัติของสารละลายว่ามีความสามารถในการดึงน้ำได้มากหรือน้อย (osmotic pressure และ osmosis)

ส่วนความเข้มข้นเป็นออสโมแลล (osmolal หรือ osmolal concentration) ของสารในสารละลายนั้น วัดโดยหลักการลดอุณหภูมิของจุดเยือกแข็ง (freezing point depression technique) โดยสาร 1 โมล ใน 1 ลิตรของตัวทำละลาย (หรือ 1 โมล/กิโลกรัมของน้ำ) จะลดจุดเยือกแข็งลงไปที่ 1.86°C นั่นคือถ้าเป็นน้ำจะลดลงจาก 0°C เป็น -1.86°C ไม่ว่าสารที่ละลายจะเป็นสารใดก็ตาม แต่ถ้ามี 1 โมล/ลิตร ก็จะลดจุดเยือกแข็งของน้ำลงไป 1.86°C ดังกล่าวแล้ว และถ้าเป็น 1 มิลลิโมล/ลิตร ก็จะลดจุดเยือกแข็งได้ 0.00186°C

ออสโมลาริตี (osmolality) คือ จำนวนออสโมลใน 1 ลิตรของสารละลาย ส่วนออสโมแลลิตี (osmolality) คือ จำนวนออสโมลใน 1 กิโลกรัมของตัวทำละลาย เช่น น้ำ ด้วยเหตุนี้ออสโมลาริตี

จึงขึ้นกับปริมาณของตัวถูกละลาย (solute) แต่ละตัวและอุณหภูมิ ส่วนออสโมแลลิตีนั้นไม่ขึ้นกับทั้งสองปัจจัยนี้ สารในร่างกายที่มีคุณสมบัติของออสโมซิส (osmotically active substances) ละลายได้ในน้ำซึ่งมีความหนาแน่นเท่ากับ 1 ดังนั้นค่าของออสโมแลลิตี จึงมีค่าใกล้เคียงกับออสโมลาริตี ซึ่งปกติมีค่าประมาณ 300 (300 mOsm/ kg H₂O) สำหรับตัวอย่างการคำนวณออสโมแลลิตีนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 2-6

นอกจากนี้สัญญา ร้อยสมมุติ (2530) ได้อธิบายว่า หน่วยอื่น ๆ ที่นิยมใช้วัดในร่างกาย โดยเฉพาะสารที่ไม่แตกตัว ได้แก่ % (กรัม/ 100 มล. สารละลาย) และ mg% (มิลลิกรัม/ 100 มิลลิลิตร ของสารละลาย) เช่น น้ำตาลกลูโคส มีค่าเท่ากับ 100 mg% และความเข้มข้นของแคลเซียมทั้งหมดในเลือด (total calcium concentration) มีค่าระหว่าง 8.5 - 10.5 mg% เป็นต้น

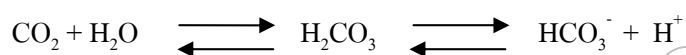
ตารางที่ 2-6 การคำนวณหาออสโมแลลิตีของสารในน้ำเลือดของมนุษย์ (Owen et al., 1970 อ้างถึงใน สัญญา ร้อยสมมุติ, 2530)

Component	Concentration (mmol/ l)	Molality (mmol/ kg of water)	Osmotic ⁺⁺ coefficient	Osmolality (mmol/ kg of water)
Sodium	140	148	0.94	140
Chloride	100	106	0.92	98
Bicarbonate	23	24	0.75	18
Other electrolyte	7*	7	0.90+	6
Glucose	5	5	1.01	5
Urea	3	3	0.99	3
Other non electrolyte	15*	16	1.00	16

หมายเหตุ * ค่าประมาณ, + Assumed value, ++ The ratio of the osmolality of the solute to its molality at body temperature and at plasma concentration

1.4 การควบคุมภาวะกรด - ด่างในร่างกาย

ภาวะกรด - ด่างในร่างกาย อาจแทนด้วยความสัมพันธ์ของสารที่เป็นส่วนประกอบของไบคาร์บอเนตบัฟเฟอร์ดังนี้



จากสมการข้างบนนี้จะเห็นว่า ถ้าร่างกายต้องการรักษา $[\text{H}^+]$ ให้คงตัว การทำงานจะอยู่ที่การรักษาระดับ HCO_3^- พร้อมกับ PCO_2 ให้พอเหมาะที่จะทำให้ pH มีค่าคงที่นั่นเอง โดยค่า PCO_2 และ HCO_3^- ไม่จำเป็นต้องคงที่ แต่ค่าของ $[\text{HCO}_3^-] / 0.03 \text{ PCO}_2$ ควรต้องคงที่ มิเช่นนั้น pH จะผิดปกติไป เพราะ $\text{pH} = 6.1 + \log [\text{HCO}_3^-] / 0.03 \text{ PCO}_2$ นั่นเอง (นั่นคือ pH คงที่ ไม่ได้ถือว่าร่างกายปกติ เพราะอาจมี PCO_2 ต่ำหรือ HCO_3^- สูงก็ได้)

สำหรับในเม็ดเลือดตัวบัฟเฟอร์ที่สำคัญคือ $\text{HCO}_3^- / \text{CO}_2$ เพราะมีเอ็นไซม์คาร์บอนิกแอนไฮเดรสมาก (CA) และโปรตีนฮีโมโกลบิน (Hb) ซึ่งคิดเป็นปริมาณโปรตีนแล้วมีมากกว่าในน้ำเลือด การจับ CO_2 โดยฮีโมโกลบินก็สำคัญเหมือนกัน ส่วนฟอสเฟตนั้นมีความสำคัญน้อย ด้วยเหตุนี้เราพบว่าการทำงานของบัฟเฟอร์ทางเคมีภายในเม็ดเลือดแดงนั้น มีความสำคัญกว่าในน้ำเลือด

สรุปได้ว่า เครื่องดื่มนักกีฬาเป็นเครื่องดื่มที่ออกแบบมาเพื่อช่วยให้นักกีฬา ชดเชยน้ำให้แก่ร่างกาย เพื่อช่วยเติมอิเล็กโทรไลต์ คาร์โบไฮเดรต และสารอาหารอื่น ๆ ที่ใช้หมดไปภายหลังจากการฝึกหรือการแข่งขัน โดยอิเล็กโทรไลต์จะช่วยชดเชยน้ำให้แก่ร่างกายอย่างเหมาะสม ช่วยลดความเมื่อยล้า ในระหว่างออกกำลังกาย ส่วนคาร์โบไฮเดรตมีความสำคัญในการเป็นตัวเชื้อเพลิงหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อในการออกกำลังกาย ช่วยยืดเวลาขึ้นระยะและสมรรถภาพทางกายของการออกกำลังกาย โดยเครื่องดื่มกีฬาเป็นเครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตในช่วงความเข้มข้น 2.0 - 8.75% มี osmolality น้อยกว่า 400 mOsm ส่วนอิเล็กโทรไลต์เป็นองค์ประกอบที่สำคัญที่สุดของของเหลวในร่างกายมนุษย์ ได้แก่ โซเดียม โปแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม ฟอสฟอรัส คลอไรด์ ไบคาร์บอเนต ไฮโดรเจนไอออน pH โปรตีน และไอออนลบอื่น ๆ ซึ่งเมื่ออิเล็กโทรไลต์ละลายน้ำจะแตกตัวให้อิออนต่าง ๆ เช่น Na^+ Cl^- K^+ Ca^{2+} H_2PO_4^- SO_4^{2-} HCO_3^- H^+ และไอออนของกรดอินทรีย์ต่าง ๆ เป็นต้น โดยโซเดียม (Na^+) เป็นไอออนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวนอกเซลล์ โดยโซเดียมเป็นตัวกำหนดออสโมลาลิตี (osmolality) ของของเหลวภายนอกเซลล์ (extracellular fluid หรือ ECF) และบ่งชี้ปริมาณน้ำในร่างกาย ซึ่งร่างกายสามารถรับโซเดียมส่วนใหญ่จากอาหาร โดยอย่างน้อยผู้ใหญ่ควรได้รับประมาณวันละ 100 - 300 mEq หรือ 5 - 15 กรัมต่อวัน และโปแตสเซียม (K^+) เป็นไอออนที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดในของเหลวในเซลล์ เนื่องจากมีปริมาณมากจึงเป็น

ตัวกำหนดออสโมลาริตี (Osmolarity) ของของเหลวภายในเซลล์ โดยปกติร่างกายได้รับโปแตสเซียมมาจากการรับประทานอาหาร ซึ่งอาหารที่มีโปแตสเซียมมาก ได้แก่ เนื้อ นม ผักใบเขียว และผลไม้ต่าง ๆ ในวันหนึ่ง ๆ ผู้ใหญ่ควรได้รับโปแตสเซียมประมาณ 50 - 120 mEq (เฉลี่ยประมาณ 100 mEq/วัน) โปแตสเซียมจะถูกดูดซึมที่ลำไส้เล็ก ส่วนที่เหลือจะถูกขับออกทางอุจจาระ สำหรับการหลั่งโปแตสเซียมเข้าสู่ทางเดินอาหาร และการดูดซึมนั้นมีลักษณะคล้ายเช่นเดียวกับโซเดียม

สำหรับหน่วยที่ใช้หน่วยที่ใช้วัดความเข้มข้นของสารที่สำคัญ เมื่อพิจารณาผลของสารต่อการทำงานของร่างกายแล้วจะพบว่า การทำปฏิกิริยากันระหว่างสาร จำนวนโมเลกุล จำนวนประจุ หรือจำนวนอนุภาคของสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรตัวทำละลายชนิดหนึ่ง เช่น น้ำ มีความสำคัญมากกว่าน้ำหนักสารต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของสารละลาย เพราะสามารถบอกถึงผลทางด้านเทอร์โมไดนามิกส์ที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงทางด้านสรีรวิทยาได้ดีกว่า ซึ่งหน่วยวัดที่สำคัญได้แก่ โมล มิลลิอิกวาลেন্ট และออสโมล เป็นต้น

2. บทบาทของเครื่องดัดผสมคาร์โบไฮเดรต

คาร์โบไฮเดรตเป็นแหล่งเชื้อเพลิงหลักในการทำงานของกล้ามเนื้อ เมื่อร่างกายทำงานที่ระดับความเข้มข้นปานกลางถึงระดับสูง เช่น จ็อกกิ้ง หรือวิ่ง นอกจากนั้นมนุษย์สามารถเก็บสะสมคาร์โบไฮเดรตอย่างจำกัด โดยจะเก็บสะสมในร่างกายในรูปของไกลโคเจน และไกลโคเจน ดังนั้นผู้ที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ จะต้องรับประทานอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตอย่างเพียงพอเพื่อสะสมไว้ใช้ ในการออกกำลังกาย และการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างเพียงพอ จากการศึกษาของเจนส์เจน และคณะ (Jentjens et al., 2004) พบว่า การให้ดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตให้ในระหว่างการออกกำลังกายที่ความเข้มข้นสูง เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (จีจักษ์ยาน) จะทำให้ความสามารถในการออกกำลังกายดีขึ้น

การชดเชยน้ำอย่างต่อเนื่อง เป็นเหตุผลหลักในการบริโภคเครื่องดื่มกีฬา เพื่อให้คาร์โบไฮเดรตสามารถดูดซึมได้อย่างรวดเร็ว จากงานวิจัยที่ผ่านมา 3 ทศวรรษได้พิสูจน์แล้วว่าการดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต ระหว่างการออกกำลังกาย จะเพิ่มสมรรถภาพในการออกกำลังกายได้ เมื่อเทียบกับน้ำเปล่า (Hawley et al., 1992) นอกจากนี้การดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต จะช่วยชดเชยน้ำในร่างกาย และเป็นเชื้อเพลิงของกล้ามเนื้อ ขณะการออกกำลังกาย

การศึกษาของมิตเชล และคณะ (Mitchell et al., 1989) และเมอร์เรย์ และคณะ (Murray et al., 1999) พบว่า อัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะ (gastric emptying) ช้าลง เมื่อความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรตในเครื่องดื่มมากกว่า 8% นอกจากนี้จากศึกษาของมูดด์เลย์ และคณะ (Moodley et al., 1992) และเลเปอร์ และคณะ (Leiper et al., 2001) พบว่า การออกกำลังกายที่ระดับความเข้มข้นสูง

จะทำให้อัตราการส่งอาหารผ่านกระเพาะช้าลง ดังนั้นหากดื่มเครื่องดื่มที่มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากกว่า 8% ในขณะที่ออกกำลังกายหรือวิ่ง อาจจะมีแนวโน้มที่จะทำให้มีอาการปวดท้อง อาเจียนได้

3. ประเภทของเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต (carbohydrate drink)

เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตในนักกีฬา แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ซึ่งแต่ละประเภท ประกอบด้วยน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และคาร์โบไฮเดรตที่แตกต่างกัน (Electrolyte and recovery drinks, 2008) ดังแสดงในตารางที่ 2-7

ตารางที่ 2-7 ประเภทของเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต สำหรับนักกีฬา (Electrolyte and Recovery Drinks, 2008)

ชนิด	ส่วนประกอบ
1. Isotonic drinks	น้ำ อิเล็กโทรไลต์ และคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 6 - 8%
2. Hypotonic drinks	น้ำ อิเล็กโทรไลต์ และคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นน้อยกว่า 6%
3. Hypertonic drinks	น้ำ อิเล็กโทรไลต์ และคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น มากกว่า 8%

จากตารางที่ 2-7 แสดงให้เห็นว่า Isotonic drinks คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรต 6 - 8% เป็นเครื่องดื่มที่สามารถทดแทนน้ำที่สูญเสียไปกับเหงื่อ และช่วยในการเพิ่มพลังงานให้กับกล้ามเนื้อ นักกีฬาสส่วนใหญ่นิยมดื่มเครื่องดื่มชนิดนี้และเหมาะสมมากที่สุด สำหรับกีฬาที่ต้องการน้ำและพลังงานทดแทนส่วนที่เสียไป เช่น กีฬาฟุตบอล วิ่งมาราธอน สกีกี เป็นต้น ส่วน Hypotonic drinks คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตน้อยกว่า 6% เป็นเครื่องดื่มที่สามารถทดแทนน้ำที่สูญเสียไป แต่มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบน้อยมาก จึงเหมาะกับนักกีฬาที่ต้องการน้ำทดแทนโดยไม่ต้องแคลอรีเพิ่มเติม เช่น นักกีฬาจ็อกกี้ ยิมนาสติก และบิลเลียด ซึ่งนักกีฬากลุ่มนี้ต้องการน้ำทดแทนเหงื่อที่เสียไป และต้องการที่จะควบคุมน้ำหนักของร่างกายด้วย และ Hypertonic drinks คือ เครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตมากกว่า 8% โดยทั่วไปจะใช้ในการช่วยเพิ่มการจัดเก็บไกลโคเจนไว้ในกล้ามเนื้อภายหลังการออกกำลังกาย เนื่องจากเครื่องดื่มชนิดนี้มีคาร์โบไฮเดรตเป็นส่วนประกอบมาก ทำให้ไม่เหมาะสมที่จะใช้ระหว่างการออกกำลังกาย ยกเว้นในกีฬาที่ต้องแข่งขันเป็นระยะเวลาหลายวันติดต่อกัน ซึ่งต้องการอาหาร

ที่มีคาร์โบไฮเดรตสูง จะใช้เครื่องดื่มชนิดนี้ร่วมกับ Isotonic drinks เพื่อให้เพียงพอต่อความต้องการพลังงานของร่างกาย

จากการศึกษาของจูเคนดรัฟ และคณะ (Jeukendrup et al., 2009) พบว่า การดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้นสูงกว่า 6% จะมีการดูดซึมได้ดี ส่วนการเติมโซเดียม 60 มิลลิโมลในเครื่องดื่มที่มีกลูโคส 6% จะไม่ทำให้การดูดซึมของเหลวมากขึ้น

นอกจากนี้ออสโมแลลิตีของน้ำ (Osmolality) จะเป็นตัววัดจำนวนอนุภาคในสารละลาย ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ สารให้ความหวาน และวัตถุกันเสีย แต่ในพลาสมาจะประกอบด้วยอนุภาคต่าง ๆ ได้แก่ อิเล็กโทรไลต์ โปรตีน และกลูโคส ซึ่งพลาสมาจะมีออสโมแลลิตีประมาณ 280 - 300 มิลลิโมลต่อลิตร ดังนั้นเครื่องดื่มที่มีออสโมแลลิตีเท่ากับพลาสมาถือว่าสมดุลกับปริมาณน้ำในร่างกายจะเรียกว่า ไอโซโทนิก (Isotonic) ส่วนไฮโปโทนิก (Hypotonic) จะมีอนุภาคต่าง ๆ น้อยกว่าในเลือด และไฮเพอร์โทนิก (Hypertonic) จะมีอนุภาคต่าง ๆ มากกว่าในเลือด นอกจากนี้พบว่าในการดื่มเครื่องดื่มที่มีค่าออสโมแลลิตีต่ำ เช่น น้ำ จะช่วยลดค่าออสโมแลลิตีในเลือด และลดอาการกระหายน้ำได้ ส่วนเครื่องดื่ม Isotonic drinks ซึ่งเป็นเครื่องดื่มที่มีส่วนประกอบของน้ำ อิเล็กโทรไลต์ และคาร์โบไฮเดรตที่มีความเข้มข้น 6 - 8% เป็นเครื่องดื่มที่สามารถผ่านกระเพาะอาหารได้ในอัตราที่เทียบเท่ากับน้ำเปล่า โดยมีค่าออสโมแลลิตี 270 - 330 mOsm/kg เท่ากับค่าออสโมแลลิตีของเลือด ความสามารถในการผ่านกระเพาะอาหารนี้จะส่งเสริมให้มีการดูดซึมจากลำไส้เล็กเพื่อจ่ายเป็นพลังงานให้กล้ามเนื้อที่ทำงานได้อย่างเหมาะสม

4. เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตและน้ำเปล่า สำหรับนักกีฬา

ความแตกต่างระหว่างเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตและน้ำเปล่า สำหรับนักกีฬา (McArdle et al., 2009) ดังแสดงในตารางที่ 2-8

ตารางที่ 2-8 ความแตกต่างระหว่างเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตและน้ำเปล่า สำหรับนักกีฬา

น้ำเปล่า	เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต
1. ไม่มีพลังงานทดแทน สำหรับกล้ามเนื้อที่ทำงาน	1. มีส่วนประกอบของคาร์โบไฮเดรตที่ให้พลังงาน สำหรับกล้ามเนื้อที่ทำงาน โดยเก็บสะสมไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ และช่วยยืระยะเวลาในการออกกำลังกายให้ยาวนานขึ้น

ตารางที่ 2-8 (ต่อ)

น้ำเปล่า	เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรต
2. ไม่มีส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ (โซเดียมและโปแตสเซียม) โดยส่งผลให้มีการกระตุ้น การขับ ปัสสาวะมากกว่าการดูดกลับน้ำ	2. มีส่วนประกอบของอิเล็กโทรไลต์ที่เพียงพอ (โซเดียมและโปแตสเซียม) กระตุ้นให้มีการดูดซึม ที่ลำไส้เล็กมากขึ้น เก็บกักน้ำโดยลดการขับ ปัสสาวะให้น้อยลง
3. ไม่ทดแทนอิเล็กโทรไลต์ที่สูญเสียจากการออกกำลังกาย	3. ทดแทนอิเล็กโทรไลต์ที่สูญเสียไปจากการออกกำลังกาย
4. รสชาติจืด ไม่มีการกระตุ้นให้มีการดื่มน้ำมากขึ้น	4. รสชาติดี กระตุ้นให้มีการดื่มน้ำมากขึ้น เพิ่มความกระปรี้กระเปร่า

นอกจากนี้รีนส์ (Reents, 2007) ได้ให้ข้อเสนอแนะสำหรับเครื่องดื่มนักกีฬา เมื่อนักกีฬาเลือกที่จะดื่มเครื่องดื่มนักกีฬา สิ่งสำคัญที่ควรพิจารณาหรือตรวจสอบคุณลักษณะของเครื่องดื่มนั้น ๆ คือ

- โซเดียม สำหรับนักกีฬาที่มีเหงื่อออกมากหรือใช้เวลาออกกำลังกายเป็นเวลายาวนาน เช่น เดิน วิ่งมาราธอน ควรดื่มเครื่องดื่มนักกีฬาที่มีส่วนผสมของโซเดียม ที่ความเข้มข้น 20 - 40 mmol/ L ที่มีโซเดียมปรากฏบนสลากของสินค้า ปริมาณ 110 - 220 มิลลิกรัมต่อ 240 มิลลิลิตร (8 ออนซ์)

- คาร์โบไฮเดรต การดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตขณะออกกำลังกายหรือแข่งขัน สัดส่วนที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางว่าเป็นประโยชน์ต่อร่างกายคือปริมาณ 3 - 10 กรัมต่อชั่วโมงในระหว่างการแข่งขันยาวนาน ที่มีความเข้มข้นของคาร์โบไฮเดรต 4-6%

กัลยา กิจบุญชู (2553) ได้ให้ข้อเสนอแนะว่า สำหรับการชดเชยน้ำนักกีฬาคควรได้รับอาหารและน้ำที่เหมาะสม โดย 24 ชั่วโมง ก่อนการแข่งขันควรดื่มน้ำ 500 มิลลิลิตร หรือประมาณ 2 แก้ว ก่อนการแข่งขัน 2 ชั่วโมงควรดื่มน้ำเป็นระยะ ๆ อย่างพอเพียงระหว่างการแข่งขันควรดื่มน้ำเย็นหรือน้ำที่มีรสชาติในภาชนะที่สะดวกและไม่เป็นอุปสรรคต่อการแข่งขันในการแข่งขันที่ใช้เวลาเกิน 1 ชั่วโมง การดื่มน้ำที่มีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตและอิเล็กโทรไลต์ โดยได้รับคาร์โบไฮเดรต 30 - 60 กรัม/ ชั่วโมง (ดื่มน้ำปริมาณ 800 - 1200 มิลลิลิตร/ ชั่วโมง มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตร้อยละ 4 - 8 และเครื่องดื่มที่มีปริมาณโซเดียม 0.5 - 0.7 กรัม/ ลิตร)

สามารถสรุปได้ว่า เครื่องดื่มนักกีฬา เป็นเครื่องดื่มที่ให้คาร์โบไฮเดรต อิเล็กโทรไลต์ และของเหลว เพื่อช่วยป้องกันความเมื่อยล้าจากการออกกำลังกาย โดยเครื่องดื่มนักกีฬาในตลาด เครื่องดื่มที่เป็นที่นิยมมากที่สุด จะมีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรต 4 - 8% (สัดส่วนคาร์โบไฮเดรต

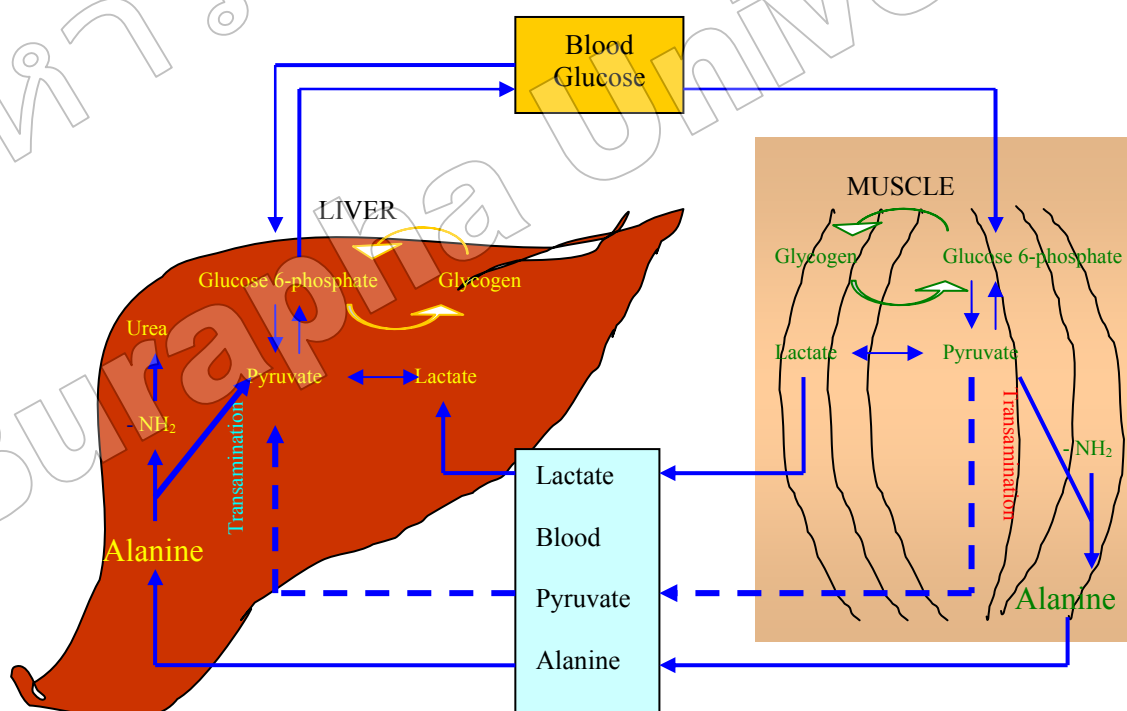
4 - 8 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร) ซึ่งเป็นเครื่องดื่มนักกีฬาที่จัดอยู่ในประเภทไอโซโทนิก (Isotonic) นอกจากนี้เครื่องดื่มนักกีฬา สามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือประเภทไอโซโทนิก (Isotonic drink) เป็นเครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นของอนุภาคที่มีความดันออสโมซิสเท่ากับเลือด มีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตปานกลาง 6 - 8% สามารถช่วยรักษาน้ำตาลในเลือด เป็นเครื่องดื่มเพื่อเพิ่มปริมาณพลังงาน (จากคาร์โบไฮเดรต) ที่เหมาะสมที่สุด ส่วนประเภทไฮโปโทนิก (Hypotonic drink) มีความเข้มข้นของอนุภาคต่ำกว่าเลือด โดยทั่วไปให้มีส่วนผสมของคาร์โบไฮเดรตต่ำ ซึ่งเครื่องดื่มไฮโปโทนิก จะใช้ดีที่สุดเพื่อทดแทนของเหลวสูญเสียทางเหงื่อออก โดยไม่ต้องเพิ่มของคาร์โบไฮเดรต และประเภทไฮเปอร์โทนิก (Hypertonic drink) มีความเข้มข้นของอนุภาคตัวทำละลายสูงกว่าเลือด ทำให้การส่งอาหารผ่านกระเพาะช้าลง จึงช่วยลดอัตราการดูดซึมน้ำและมีระดับแคลอรีสูง เครื่องดื่มประเภทนี้ใช้เพื่อเสริมปริมาณคาร์โบไฮเดรต จะช่วยเติมและเก็บไกลโคเจนในกล้ามเนื้อ ซึ่งเครื่องดื่มไฮเปอร์โทนิกนี้ใช้เป็นอาหารเสริมพลังงานที่ดีที่สุดในช่วงระยะเวลาการฝึกหนัก นอกจากนี้ในการเติมโซเดียมในเครื่องดื่มนักกีฬา ควรมีปริมาณโซเดียม 0.5 - 0.7 กรัม/ลิตร

5. เครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตกับปริมาณกลูโคสในเลือด

5.1 ความสำคัญของกลูโคสในเลือด

กลูโคส (Glucose) เป็น Monosaccharide ที่มีความสำคัญที่สุด ทั้งนี้เพราะกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และร่างกายสามารถเปลี่ยนกลูโคสเป็นคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ทุกชนิด หลังจากกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด อาจจะสูงขึ้นถึง 6.5 - 7.2 mmol/L หลังจากกินอาหารไปแล้วราว 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดจะอยู่ที่ 4.5 - 5.5 mmol/L และช่วงอดอาหาร (fasting) ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด จะลดลงเหลือราว 3.3 - 3.9 mmol/L (วิชัย เอื้อธิยาพันธุ์, 2545) นอกจากนี้ธาดา สืบหลินวงศ์ และนวนทิพย์ กมลวารินทร์ (2542) ได้อธิบายไว้ว่า ระดับน้ำตาลในเลือดคนปกติ ซึ่งจะหลังจากอาหาร 12 ชั่วโมง ที่เรียกว่า Fasting blood sugar จะมีค่าคงที่อยู่ระหว่าง 90 - 120 mg% ซึ่งน้ำตาลในเลือดนี้ได้มาจาก 3 แหล่งคือ อาหารคาร์โบไฮเดรต, กระบวนการสังเคราะห์กลูโคส (Gluconeogenesis) และกระบวนการสลายไกลโคเจน (Glycogenolysis) ซึ่งอวัยวะที่มีบทบาทสำคัญในการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือดคือ ตับและกล้ามเนื้อ โดยคาร์โบไฮเดรตในอาหารหลังจากถูกย่อยแล้ว ส่วนใหญ่จะกลายเป็นกลูโคส ถ้าอาหารที่กินมีน้ำตาลและนม หรือผลิตภัณฑ์ที่ได้จากนม ก็จะได้ fructose และ galactose ด้วย Monosaccharide เหล่านี้ถูกขนส่งไปยังตับ โดยเส้นเลือด hepatic portal vein ตับนำไปเปลี่ยนเป็นกลูโคสได้

สำหรับช่วงอดอาหาร กลูโคสในเลือดได้มาจาก gluconeogenesis สารตั้งต้นของ gluconeogenesis มี 2 ประเภท คือ สารที่ทำให้มีกลูโคสเพิ่มขึ้น เช่น gluconeogenic amino acid, propionate และสารที่ได้มาจากการสลายกลูโคสอย่างไม่สมบูรณ์ ถูกนำกลับมาสร้างกลูโคส จึงไม่ได้ทำให้มีการสร้างกลูโคสเพิ่มขึ้น เช่น glycerol และ lactate ซึ่ง Lactate เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อลายที่กำลังออกกำลังกายอย่างหนัก และในเนื้อเยื่อแดง โดยการสลายกลูโคสแบบ anaerobic glycolysis ตับนำ lactate กลับไปสร้างกลูโคส แล้วปล่อยกลับสู่กระแสเลือด วงจรนี้เรียกว่า Cori cycle หรือ lactic acid cycle (ดังแสดงในภาพที่ 2-5) สำหรับกรดอะมิโนส่วนใหญ่ที่ออกจากกล้ามเนื้อไปยังตับ ในช่วงอดอาหารเป็น alanine ได้มาจากการสลายโปรตีนในกล้ามเนื้อโดยตรง และยังได้จากกรดอะมิโนชนิดอื่นที่เปลี่ยนเป็น alanine ก่อนออกจากกล้ามเนื้อ กรดอะมิโนเหล่านี้ทำให้มีการสร้างกลูโคสสุทธิเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม alanine ที่ออกจากกล้ามเนื้อ อาจเกิดจาก pyruvate ที่ได้จาก glycolysis ในกล้ามเนื้อแล้วเกิดปฏิกิริยา transamination กลายเป็น alanine การสร้างกลูโคสจาก alanine ในกรณีนี้ไม่ได้ทำให้มีการสร้างกลูโคสสุทธิเพิ่มขึ้น กลูโคสออกจากตับแล้วกล้ามเนื้อได้รับไปสลายเป็น alanine อีก ทำให้เกิดเป็นวงจรที่เรียกว่า glucose-alanine cycle ดังแสดงในภาพที่ 2-5



ภาพที่ 2-5 วัฏจักร Lactic acid (Cori) และวัฏจักร glucose - alanine หมู่ -NH_2 ได้มาจากการสลายกรดอะมิโนที่ได้มาจากการสลาย Protein ในกล้ามเนื้อ (วิชัย เอื้อสียาพันธุ์, 2545)

อูทุณี สิงห์โกวิท และสุรพงศ์ อำพันวงษ์ (2553) ได้อธิบายไว้ว่า น้ำตาลในเลือดมาจากเมื่อเรารับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าว ก๋วยเตี๋ยว ขนมปัง มันฝรั่ง ขนมหวาน น้ำหวาน อาหารเหล่านี้จะถูกย่อยจนเป็นน้ำตาลที่ร่างกายสามารถดูดซึมได้ และจะถูกดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือด เพื่อนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานทั่วร่างกาย แต่หากเรารับประทานอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรตมากเกินไปจนเกินความจำเป็นของร่างกาย น้ำตาลส่วนเกินเหล่านี้จะถูกแปรสภาพไปเป็นไขมันสะสมในตับหรือเป็นไขมันไตรกลีเซอไรด์สะสมตามบริเวณต่าง ๆ ของร่างกาย แต่การที่ร่างกายจะนำน้ำตาลเหล่านี้ไปใช้เป็นพลังงาน หรือเก็บสะสมไว้ในร่างกาย จำเป็นต้องอาศัยฮอร์โมนที่สำคัญที่เรียกว่า อินซูลิน ซึ่งเป็นสารที่มีความสำคัญในการนำน้ำตาลกลูโคสเข้าไปในเซลล์เพื่อนำไปใช้เป็นพลังงาน ในคนปกติแม้ไม่ได้รับประทานอาหาร ดับยังคงมีการสร้างน้ำตาลเพื่อใช้เป็นพลังงานของสมองและอวัยวะอื่น ทำให้มีการหลั่งอินซูลินจากเบต้าเซลล์ของตับอ่อนระดับต่ำ ๆ ตลอดเวลา หลังการรับประทานอาหารโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาหารประเภทคาร์โบไฮเดรต เช่น ข้าว และแป้ง จะถูกย่อยสลายเป็นน้ำตาลกลูโคสในลำไส้เล็ก และดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดเพื่อใช้เป็นพลังงานของร่างกาย ระดับน้ำตาลที่สูงขึ้นในเลือดจะกระตุ้นการหลั่งอินซูลินจากตับอ่อนเพิ่มขึ้น เพื่อเผาผลาญน้ำตาลทำให้ระดับน้ำตาลในเลือดปกติ ดังนั้นหากร่างกายมีปริมาณอินซูลินไม่เพียงพอต่อความต้องการ หรือเกิดภาวะดื้ออินซูลินทำให้อินซูลินไม่สามารถทำงานได้ตามปกติ น้ำตาลกลูโคสจะไม่สามารถผ่านเข้าไปสู่เนื้อเยื่อต่าง ๆ ได้ ทำให้มีระดับน้ำตาลกลูโคสในกระแสเลือดสูง และอาการแสดงของโรคเบาหวานขึ้น

ส่วนวิชา สุโรจนะเมธาคูล (2549) อธิบายไว้ว่า คาร์โบไฮเดรต เป็นแหล่งให้พลังงานที่สำคัญแก่ร่างกาย ซึ่งอาจได้จากอาหารหลาย ๆ อย่างเช่น จากข้าว แป้ง ขนมปัง ถั่ว นม ผลไม้ มันฝรั่ง ข้าวโพด เป็นต้น แม้ว่าอาหารเหล่านี้อยู่ในรูปแบบที่แตกต่างกัน แต่องค์ประกอบส่วนใหญ่ที่มีมากที่สุดได้แก่ น้ำตาล เส้นใย และแป้ง ซึ่งเมื่อคาร์โบไฮเดรตเหล่านี้เข้าสู่กระแสเลือด เรียกว่า Blood Sugar และเพื่อให้สามารถควบคุมสถานะของระดับน้ำตาลในเลือดให้เป็นปกติ นักโภชนาการนิยมนำค่าดัชนีไกลซีมิก (Glycemic Index GI) มาใช้ในการจัดลำดับคุณภาพของสารคาร์โบไฮเดรตในอาหาร โดยมีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 100 ขึ้นกับว่าอาหารนั้น ๆ มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของระดับน้ำตาลในเลือดมากหรือน้อยหลังการบริโภคอาหารนั้น 2 ถึง 3 ชั่วโมง

นอกจากนี้กุลธรา เมฆสวรรค์ (ม.ป.ป.) กล่าวว่า คาร์โบไฮเดรตในรูปแบบของเครื่องดื่ม (liquid formula) มีข้อดีคือ ย่อยง่าย แต่ไม่ควรให้ดื่มหรือรับประทานน้ำตาลกลูโคส 30 - 45 นาที ก่อนการแข่งขัน โดยเฉพาะในผู้ที่ไวต่อการลดลงของกลูโคสในเลือด การรับประทานกลูโคสในปริมาณสูงก่อนการแข่งขันในขณะท้องว่าง อาจจะทำให้มีการเพิ่มระดับน้ำตาลในเลือดและกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งฮอร์โมนอินซูลิน ซึ่งมีหน้าที่นำน้ำตาลในเลือดเข้าสู่เซลล์ร่างกาย ผลที่ได้รับ

ก็คืออาจทำให้เกิดภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (hypoglycemia) ระดับฮอร์โมนอินซูลินที่สูงจะไปยับยั้งความสามารถในการสลายไขมันที่สะสมไว้มาใช้เป็นพลังงาน และความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงขึ้นจะมีผลให้เกิดการดื่มน้ำเข้าสู่กระเพาะอาหาร ทำให้นักกีฬาเกิดอาการอึดอัดและง่วงได้

โดยปกตินักกีฬาจะไม่รับประทานอาหารระหว่างการแข่งขัน แต่ถ้าเป็นการแข่งขันที่เป็นเวลานานติดต่อกันหลาย ๆ ชั่วโมง เครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตจะมีประโยชน์กับนักกีฬามากกว่าน้ำเปล่า เพราะจะรักษาระดับกลูโคสในเลือด ป้องกันการเกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้ ได้ และการที่มีระดับกลูโคสในเลือดเพียงพอ ยังช่วยเป็นแหล่งพลังงานแก่กล้ามเนื้ออีกด้วย ซึ่งในระหว่างการแข่งขันกีฬา นักกีฬาควรได้รับสารละลายที่มีคาร์โบไฮเดรตประมาณ 25 - 30 กรัมต่อครึ่งชั่วโมง หรือเท่ากับสารละลายคาร์โบไฮเดรตเข้มข้นร้อยละ 6 - 8 ปริมาณ 1 ถ้วยตวง ให้กินทุก 15 - 20 นาที และการให้สารละลายคาร์โบไฮเดรตเข้มข้นร้อยละ 6 จะช่วยเพิ่มคาร์โบไฮเดรตในเลือดและทำให้การออกกำลังกายทำได้ดีขึ้น แต่ถ้าความเข้มข้นมากกว่าร้อยละ 10 จะทำให้ปวดท้องและเกร็งท้อง คลื่นไส้ และท้องเสีย นอกจากนี้ถ้าการแข่งขันที่ไม่นานเกินกว่า 1 ชั่วโมง การสูญเสียพลังงานและเกลือแร่ยังไม่มาก สามารถดื่มน้ำเปล่าทดแทนได้ และควรแช่เย็นก่อนดื่มจะช่วยให้ร่างกายดูดซึมไปใช้ได้ดีขึ้น เร็วขึ้น และช่วยลดความร้อนในร่างกายที่เกิดจากการออกกำลังกายได้

ส่วนการหาค่าปกติของสารละลายในเลือดสามารถดูได้จากตารางที่ 2-9 (อุทัยนีสิงห์โกวินท์ และสุรพงษ์ อำพันวงษ์, 2553)

ตารางที่ 2-9 ค่าปกติการตรวจหาสารละลายในเลือด (ค่าในตารางเป็นค่าการตรวจทางห้องปฏิบัติการที่ต้องใช้ประกอบการวินิจฉัยของแพทย์ร่วมกับอาการทางคลินิก)
(<http://web.sut.ac.th/sutnew/news/check08.doc>)

รายการ	ค่าปกติ
1. FBS (Fasting Blood Sugar) (Sugar, ระดับน้ำตาล)	70 - 110 mg/ dl
2. Uric Acid (กรดยูริก)	2 - 6 mg/ dl
3. Cholesterol (Chol, ไขมัน)	150 - 200 mg/ dl
4. Triglyceride (TG, ไขมัน)	30 - 200 mg/ dl
5. SGOT (การทำงานของตับ)	8 - 50 U/ L
6. SGPT (การทำงานของตับ)	8 - 50 U/ L

ตารางที่ 2-9 (ต่อ)

รายการ	ค่าปกติ
7. ALP (การทำงานของตับ)	35 - 110 U/ L
8. HDL (ไขมันชนิดดี)	32 - 68 mg/ dl
9. LDL (ไขมันชนิดเลว)	<150 mg/ dl
10. Creatinine (Cr, การทำงานของไต)	1-2 mg/ dl

นอกจากจากการออกกำลังกายมีผลต่อการควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด โดยทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในร่างกาย 2 ระบบ ได้แก่

- ระบบการหมุนเวียนของเลือดและการหายใจ การออกกำลังกายช่วยให้การไหลเวียนของเลือดและการขนถ่ายออกซิเจนไปสู่เนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายดีขึ้น

- ระบบพลังงานและฮอร์โมนอินซูลิน การออกกำลังกายทำให้การใช้อินซูลินลดลง แต่ประสิทธิภาพการทำงานดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีฮอร์โมนอื่น ๆ ทำงานดีขึ้น เช่น กลูคาгон, อีพิเนฟริน มีปริมาณเพิ่มขึ้น เพื่อสลายไกลโคเจนในตับ และสร้างกลูโคส ไปสู่กล้ามเนื้อ มากขึ้น จึงทำให้ไขมันลดลง (อรรณพ ภูษิตพัฒน์, 2549 ข)

5.2 การควบคุมการเผาผลาญกลูโคส กับการออกกำลังกาย

วิลล์มอร์ และคอสทิล (Wilmore & Costill, 1994) ได้อธิบายไว้ว่า ในขณะที่ออกกำลังกาย ร่างกายจะต้องการกลูโคสจำนวนมากสำหรับกล้ามเนื้อ โดยกลูโคสที่ใช้ส่วนใหญ่ มาจากการสลายไกลโคเจนที่สะสมในตับและกล้ามเนื้อ (จากกระบวนการ glycogenolysis) ซึ่ง น้ำตาลกลูโคสจะถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกายได้ทำงาน อย่างมีประสิทธิภาพ และระดับกลูโคสในเลือด (Plasma glucose) ที่เพิ่มมากขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับ การทำงานของกระบวนการจากการสลายไกลโคเจน (glycogenolysis) และการสังเคราะห์ กลูโคส (gluconeogenesis) โดยฮอร์โมนที่เกี่ยวข้องได้แก่ กลูคาгон (glucagons) อีพิเนฟริน (epinephrine) นอร์อีพิเนฟริน (norepinephrine) และคอร์ติซอล (cortisol) โดยความเข้มข้นของ น้ำตาลในเลือดระหว่างการออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างการใช้กลูโคสใน กล้ามเนื้อและการปล่อยกลูโคสจากตับ นั่นเอง

จากการศึกษาของวอลลิส และคณะ (Wallis et al., 2008) พบว่า กลูโคสในพลาสมา (plasma glucose) และอินซูลินในซีรัม (serum insulin) ระยะพื้นตัวหลังออกกำลังกาย มีค่าไม่ แตกต่างกัน และพบว่าค่าความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดของกลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรต

ที่มีส่วนผสมของกลูโคส + ฟรุคโตส เพิ่มขึ้นมากกว่าที่ดื่มเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนผสมของกลูโคส เพียงอย่างเดียวประมาณ 0.8 มิลลิโมลต่อลิตร ($p < 0.05$) โดยสรุปได้ว่า การดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนผสมของกลูโคส และกลูโคส/ฟรุคโตส (อัตราส่วน 2: 1) ในปริมาณ 90 กรัมต่อชั่วโมง มีผลต่อสะสมไกลโคเจนในกล้ามเนื้อขึ้นใหม่ (restoring muscle glycogen) ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย ภายหลังการออกกำลังกายจนหมดแรง (exhaustion exercise)

ส่วนการศึกษาของเฟร์นันเดซ และคณะ (Fernández et al., 2009) พบว่า การดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนผสมของกลูโคส + ฟรุคโตส มีค่าความเข้มข้นของอินซูลินในพลาสมาในระยะขณะออกกำลังกาย และในระหว่างระยะฟื้นตัวในวันที่ 15 และวันที่ 75 ($p < 0.05$) สูงกว่ากลุ่มที่ดื่มเครื่องดื่มผสมคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนผสมของกลูโคส และพบว่าค่าความเข้มข้นของกลูโคสในพลาสมาไม่มีความแตกต่างกัน โดยสรุปได้ว่าการดื่มเครื่องดื่มคาร์โบไฮเดรตที่มีส่วนผสมของกลูโคส + ฟรุคโตส ในระยะก่อนออกกำลังกาย จะกระตุ้นให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของฮอร์โมนและไขมันขึ้น ในระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิก และระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย

นอกจากนี้การศึกษาของโอคอนเนอร์ และคณะ (O'Connor et al., 2006) พบว่า เมื่อดื่มเครื่องดื่มกลูโคสหลังการออกกำลังกาย จะมี insulin resistance ในระดับต่ำ และทำให้ Plasma VIP เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่ง VIP จะมีบทบาทสำคัญในการ glucoregulatory เมื่อดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของกลูโคสในระหว่างหลังออกกำลังกายทันที ระยะฟื้นตัวหลังออกกำลังกาย

สามารถสรุปได้ว่า กลูโคส (Glucose) เป็น Monosaccharide ที่มีความสำคัญที่สุด ทั้งนี้เพราะกลูโคสเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญของร่างกาย และร่างกายสามารถเปลี่ยนกลูโคสเป็นคาร์โบไฮเดรตอื่น ๆ ทุกชนิด หลังจากกินอาหารที่มีคาร์โบไฮเดรตมาก ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด อาจจะสูงขึ้นถึง 6.5 - 7.2 mmol/L หลังจากกินอาหารไปแล้วราว 2 ชั่วโมง ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือดจะอยู่ที่ 4.5 - 5.5 mmol/L และช่วงอดอาหาร (fasting) ความเข้มข้นของกลูโคสในเลือด จะลดลงเหลือราว 3.3-3.9 mmol/L ซึ่งโดยทั่วไปปริมาณกลูโคสในเลือดมีค่าปกติเฉลี่ยอยู่ในช่วง 70 - 120 mg/dl ในขณะที่ออกกำลังกาย ร่างกายจะต้องการกลูโคสจำนวนมากสำหรับกล้ามเนื้อ โดยกลูโคสที่ใช้ส่วนใหญ่มาจากการสลายไกลโคเจนที่สะสมในตับและกล้ามเนื้อ จากกระบวนการสลายไกลโคเจน (glycogenolysis) ซึ่งน้ำตาลกลูโคสจะถูกปลดปล่อยเข้าสู่กระแสโลหิตเพื่อให้เนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกายได้ทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ และระดับกลูโคสในเลือด (Plasma glucose) ที่เพิ่มมากขึ้นนี้เกี่ยวข้องกับการทำงานของกระบวนการจากการสลายไกลโคเจน (glycogenolysis) และการสังเคราะห์กลูโคส (gluconeogenesis) โดยฮอร์โมนที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กลูคาγον (glucagons) อีพิเนฟริน (epinephrine) นอร์อีพิเนฟริน (norepinephrine) และ

คอร์ติซอล (cortisol) และความเข้มข้นของน้ำตาลในเลือดระหว่างการออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับความสมดุลระหว่างการใช้กลูโคสในกล้ามเนื้อและการปล่อยกลูโคสจากตับนั่นเอง สำหรับกีฬาที่มีการแข่งขันที่เป็นเวลานานติดต่อกันหลาย ๆ ชั่วโมง เครื่องดื่มที่มีคาร์โบไฮเดรตจะมีประโยชน์กับนักกีฬามากและจะได้ประโยชน์มากกว่าน้ำเปล่า เพราะจะรักษาระดับกลูโคสในเลือด ป้องกันการเกิดอาการปวดศีรษะ วิงเวียน คลื่นไส้ เป็นต้น และการที่มีระดับกลูโคสในเลือดเพียงพอ จะช่วยเป็นแหล่งพลังงานแก่กล้ามเนื้อหลังออกกำลังกายได้