

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาเรื่องผลของชิงผงแคปซูลที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานและสมรรถนะในการออกกำลังกายแบบแอโรบิกเป็นการศึกษาเชิงทดลองโดยศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยดังนี้

ตอนที่ 1 การเลือกใช้สมุนไพรกับการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา

1.1 ประเภทสมุนไพรและฤทธิ์ทางเคมีของสมุนไพร

1.2 รูปแบบ (Form) และขนาด (Dose) ของสมุนไพร

1.3 สมุนไพรเชิงฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาและผลการวิจัยทางคลินิก

ตอนที่ 2 อัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักและค่าเศษส่วนการหายใจ

2.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพัก (Resting Metabolic Rate; RMR)

2.2 ค่าเศษส่วนการหายใจ (Respiratory Quotient; RQ)

ตอนที่ 3 การใช้ออกซิเจนสูงสุด

3.1 การได้รับออกซิเจนของกล้ามเนื้อระหว่างออกกำลังกาย

ตอนที่ 1 การเลือกใช้สมุนไพรกับการออกกำลังกายและการเล่นกีฬา

สมัยก่อนมีความเชื่อว่าสิ่งที่นำมาใช้จากธรรมชาติล้วนปลอดภัยมักเป็นความเชื่อที่ไม่ถูกต้องทั้งหมด เนื่องจากในสมัยก่อนมีการใช้สมุนไพรจากวิธีชีวิตเดิม และจากประสบการณ์ของผู้ใช้โดยตรง แต่การใช้สมุนไพรควรมีพิจารณาเรื่องคุณภาพของสมุนไพร, ขนาดและรูปแบบในการรับประทาน, การขัดขวางฤทธิ์กันระหว่างสมุนไพรและการออกฤทธิ์ทางเคมีของยาสมุนไพร สิ่งที่ต้องทำเมื่อนำสมุนไพรมาใช้ก็ควรตรวจสอบว่ามีอันตรายน้อยที่สุดเนื่องจากส่วนใหญ่เชื่อว่าไม่มีอันตรายโดยนำมาใช้แล้วไม่มีหลักฐานยืนยัน

ในปัจจุบันผลการศึกษาจำนวนมากที่ตีพิมพ์ผลข้างเคียงของการใช้สมุนไพร (Side Effect) และการขัดขวางฤทธิ์ของยา (Interaction) ยังมีข้อมูลน้อยและเป็นการคาดเดาหรือยังไม่รู้ข้อมูลที่แน่นอน การวิจัยสมุนไพรในบางประเทศของยุโรปมีการวิจัยเกี่ยวกับพืชสมุนไพรมานานเป็นทศวรรษ โดยเริ่มตั้งแต่ปีค.ศ. 1980-1988 มีการทดลองกว่า 300 ตัวอย่างในประเทศเยอรมัน แต่การตีพิมพ์ไม่ใช้ภาษาอังกฤษจึงทำให้ข้อมูลเข้าใจได้มีน้อย การศึกษาจากหลายตัวอย่างพบว่ามีข้อได้เปรียบในเรื่องวิธีการวิจัยและมักมีคำถามว่าผลการทดลองเชื่อถือได้หรือไม่ และส่วนใหญ่ผลการวิจัยยังมีน้อยและขาดข้อมูลทางคลินิกและการตรวจสอบจากผู้เชี่ยวชาญ

ทศวรรษที่ 2 ในช่วงปี ค.ศ. 1990s มีการศึกษามากขึ้นจากทวีปเอเชียหรือการศึกษาจากยุโรปตะวันออก การศึกษามีขึ้นอย่างเป็นระบบมากขึ้น โดยมีการทดลองทางคลินิกและการใช้ค่าสถิติที่น่าเชื่อถือมากขึ้นทำให้ผลการศึกษามีความน่าเชื่อถือและเริ่มมีการศึกษาเรื่องสมุนไพรเพิ่มขึ้นและการศึกษาสมุนไพรในเชิงคลินิก มีลักษณะเฉพาะในการตั้งปัญหาและการประเมินจากวิธีการเตรียมการศึกษาแบบเฉพาะและการเตรียมแบบหลากหลาย โดยการผลิตภัณฑ์สมุนไพรล้วนมีความหลากหลายและมีกลิ่นและรสชาติเฉพาะดังนั้นจึงต้องมีการศึกษาแบบ Double-Blind และควบคุมเรื่องดังกล่าวให้เหมาะสม (Glanville & Lefebvre, 2000).

เมื่อต้องการข้อมูลที่เป็นจริงไม่ใช่ข้อมูลจากการสันนิษฐาน ควรต้องมีการทดสอบว่าสมมุติฐานเป็นความจริงหรือไม่จึงต้องการเครื่องมือที่สามารถทดสอบพื้นฐานทางวิชาการเพื่ออ้างอิง (Evidence- Based Medicine) เพื่อใช้การทดสอบเช่นการใช้วิธีการ Randomized Clinical Trials (RCTs) ถือว่าเป็นแบบมาตรฐาน (Gold Standard) เพิ่มความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยในการใช้สมุนไพร นอกจากนี้การทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ และการศึกษาแบบ Meta Analyses ตลอดจนการเก็บรวบรวมข้อมูลของสมุนไพรอย่างเป็นระบบ (Rothblatt & Ziment, 2002) และวิธีการศึกษาที่มีคุณภาพในเชิงคลินิกจะช่วยให้ข้อมูลที่ศึกษามีความน่าสนใจและน่าเชื่อถือได้ของผู้เชี่ยวชาญด้านสุขภาพต่อไป

การออกกำลังกายและการเล่นกีฬา มีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน การออกกำลังกายโดยการเคลื่อนไหวร่างกายที่มีวัตถุประสงค์จากการทำซ้ำอย่างมีแบบแผนทำให้เกิดการปรับตัวของฮอร์โมน กล้ามเนื้อ ระบบประสาทและการเปลี่ยนแปลงของร่างกายสู่ความสมดุลมากขึ้นและการเล่นกีฬา มีกฎ กติกา มีการฝึกทั้งเทคนิคและแทคติกเพื่อนำไปสู่ชัยชนะ การออกกำลังกายจึงเป็นรากฐานสำคัญเพื่อนำไปสู่การเล่นกีฬาหรือการแข่งขัน เมื่อมีการแข่งขัน การฝึกหนักและการเกิดภาวะกดดันจากการฝึกจะส่งผลกระทบต่อโดยตรงทั้งร่างกายและจิตใจ โดยความหนักที่ซ้ำกับร่างกายอย่างต่อเนื่องจะส่งผลให้ร่างกายขาดความสมดุล สาเหตุหลักคือความต้องการสารอาหารและการใช้พลังงานไม่อยู่ในจุดสมดุลจะส่งผลให้เกิดอาการเหนื่อย ง่วง เมื่อยล้า และการบาดเจ็บ เช่น การอักเสบจากแผล ปวดกล้ามเนื้อ และอาการเครียด แต่ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาไม่มองที่ประเด็นหลักแต่จะต้องการการกระทำที่เป็นตัวช่วยที่จะทำให้ร่างกายนั้นปรับตัวสู่สภาวะปกติโดยเร็วจากทางลัด เช่นการใช้สารเสริมอาหาร

สารเสริมพลังทางกีฬาที่เรียกว่าเออร์โกเจนิค (Ergogenic) โดยมีที่มาจากภาษากรีก Ergon = งาน (Work), Genna = สร้าง (To Produce) และ Edge=การทำให้ดีขึ้น (Advantage, Improvement) ประเภทของการสร้างพลังทางการกีฬาแบ่งเป็น 5 ประเภท (Williams, 1997) ได้แก่

ประเภทโภชนาการ เกษัชวิทยา สรีรวิทยา จิตวิทยาและอุปกรณ์และชีวกลศาสตร์ทางกีฬาโดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.1 ประเภทของการสร้างพลังทางการกีฬา

ประเภท	ได้แก่
1 โภชนาการ	สารอาหารหลักเช่นคาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, โปรตีน สารอาหารรองเช่นวิตามินเกลือแร่และสารอื่นเช่นน้ำ การใช้สมุนไพร และสารสกัด
2 เกษัชวิทยา	ยาหรือสารอื่นที่ส่งผลกับฮอร์โมน, สารสื่อประสาท กับมนุษย์
3 สรีรวิทยา	สารหรือเทคนิคที่ออกแบบมาเฉพาะเพื่อเพิ่มพลังเช่น การดื่บเลือด, การได้รับอีริโทรพอยีติน(Erythropoietin) และการได้รับออกซิเจน
4 จิตวิทยา	การฝึกทางจิตวิทยาเช่นการฝึกการจัดการความเครียดของนักกีฬา
5 อุปกรณ์และชีวกลศาสตร์	เช่นการฝึกการก้าวเท้า การใส่ชุดลดแรงเสียดทาน

การนำหลักการทางโภชนาการมาใช้เพื่อการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาดูเหมือนว่าจะเป็นวิธีที่ถูกต้องและสามารถทำได้โดยส่งผลให้ร่างกายสามารถทำงานได้อย่างเต็มความสามารถและเพื่อให้ร่างกายมีการสร้างพลังงาน เพื่อนำสารอาหารหลักที่ให้พลังงานแก่ร่างกาย เช่น คาร์โบไฮเดรต, ไขมัน, โปรตีน และสารอาหารรองที่ไม่ให้พลังงานแต่ขาดไม่ได้เช่นวิตามินเกลือแร่และน้ำ รวมทั้งการใช้สมุนไพรและสารสกัดจากสมุนไพรมาใช้โดยเฉพาะกลุ่มไกลโคไซด์ มีการใช้ในนักกีฬาและผู้ออกกำลังกายอย่างแพร่หลายเช่น โสม (Ginseng) ที่มีการศึกษาและรู้จักกันดีทั่วโลก การใช้สมุนไพรมีหลายรูปแบบโดยนิยมใช้ ในรูปผลิตภัณฑ์แบบผงที่มีขนาดยา 200-400 กรัมต่อวันหรือใช้รากที่สกัดแล้วมีสารจินซีโนไซด์ $\geq 4\%$ นอกจากนี้การใช้ให้ได้ผลดีในการเพิ่มสมรรถภาพทางกายต่อเนื่องกันนาน 8 สัปดาห์สามารถป้องกันความเสียหายของกล้ามเนื้อจากการฝึกหนักเกินไป

การนำผลิตภัณฑ์สมุนไพรมาใช้ในการออกกำลังกายและการเล่นกีฬาเป็นจุดเล็ก ๆ ในด้านโภชนาการที่ผู้ฝึกสอนส่วนใหญ่และนักกีฬาให้ความสำคัญมากกว่าการสร้างแหล่งพลังงานหลักของร่างกาย การนำผลิตภัณฑ์สมุนไพรมาใช้มีวัตถุประสงค์เช่นเพื่อเพิ่มความอดทนและระยะเวลาในการออกกำลังกายหรือแข่งขันให้นานขึ้นความต้องการเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ ตลอดจนร่างกายฟื้นสภาพรวดเร็ว และการลดไขมัน ตารางที่ 2-2 แสดงวัตถุประสงค์หลักและประเภทกีฬาที่ใช้สมุนไพรในการออกกำลังกายและกีฬา (Bucci, 2000) เพิ่มความอดทน

และระยะเวลาในการออกกำลังกายหรือแข่งขันให้นานในประเภทกีฬา วิ่ง, จักรยาน พายเรือ, ว่ายน้ำ, เคน, สกิ แอโรบิกและการปีนเขา และการเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการเพาะกาย, ยกน้ำหนัก, มวยปล้ำ, กีฬาประเภทความแข็งแรง, และกีฬาประเภทลู่อู่อและลาน

1.1 ประเภทสมุนไพรและฤทธิ์ทางเคมีของสมุนไพร

ประเภทสมุนไพร

สมุนไพรที่นิยมใช้ในปัจจุบันจัดอยู่ในรูปแบบสารเสริมอาหาร (Dietary Supplement) ในปี 1994 องค์การอาหารและยาของสหรัฐอเมริกาได้มีการจัดตั้งองค์กรเพื่อดูแลสารเสริมอาหารเพื่อสุขภาพขึ้นเรียกว่า DSHEA (Dietary Supplement Health and Education Act) มีหน้าที่ในการจัดประเภทของยาสมุนไพร วิตามิน เกลือแร่ อะมิโนแอซิด เอนไซม์ และสารอื่นที่ใช้เพื่อบำรุงสุขภาพ และวางขายในร้านทั่วไปให้อยู่ในประเภทสารเสริมอาหารโดยให้ความหมายของสารเสริมอาหารดังนี้ “สารเสริมอาหารเป็นสารที่เพิ่มจากอาหารปกติไม่ใช้การทดแทนอาหารปกติ สมุนไพรและพืชสมุนไพรทั่วไปและสารสกัดจากสมุนไพรก็อยู่ในกลุ่มของสารเสริมอาหาร”

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สมุนไพรในศตวรรษที่ 20 ได้เปลี่ยนรูปแบบเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถขึ้นทะเบียนและวางขายได้ตามเกณฑ์ ผลิตภัณฑ์สมุนไพรเรียกว่า HMPs (Herbal Medicine Products) โดยส่วนใหญ่ใช้อยู่ในรูปแบบของยา (Plant-Based Medicine) หรือผลิตภัณฑ์สมุนไพร (Herb Product) ซึ่งข้อมูลในทางวิชาการและการวิจัยในเรื่องความปลอดภัยจากการใช้สมุนไพร จริยธรรม, กฎหมายและข้อมูลทางวิทยาศาสตร์มีจำนวนน้อย ซึ่งมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการติดตามผลจากการใช้ การนำผลิตภัณฑ์สมุนไพรมาใช้ล้วนมีความหลากหลาย มีกลิ่นและรสชาติเฉพาะดังนั้นการศึกษาแบบ Double-Blind และการศึกษาแบบการควบคุมการทดลอง (Randomized Controlled Trials; RCTs) ถือว่าเป็นแบบมาตรฐานและเพิ่มความน่าเชื่อถือและความปลอดภัยในการใช้สมุนไพร (Rotblatt & Ziment, 2002)

การนำสมุนไพรมาใช้ในการเล่นกีฬามีการบันทึกตั้งแต่สมัยกรีกโบราณโดยอธิบายการรักษาอาการเคล็ดขัดยอกด้วยการใช้เกสรธัญสำหรับผิวหนัง เช่น ยาขี้ผึ้ง และแผ่นประคบ สมุนไพรที่นำมาใช้ในโรคกล้ามเนื้อและกระดูกส่วนใหญ่จะมีสรรพคุณลดการอักเสบและปวด ทางอาชีวเวชของอินเดียเรียกอาการที่เกิดจากการใช้กำลังหรือออกกำลังกายมากเกินไปว่า “ราชายักษมะ” และจัดอยู่ในกลุ่มโรคทางปอดด้วย สมุนไพรที่นำมาใช้มีหลายชนิดเช่น ไพล ขมิ้นชันและจิง โดยสารสำคัญที่อยู่ในพืชสมุนไพรเหล่านี้จะสามารถออกฤทธิ์ด้านการอักเสบโดยในปัจจุบันมีการศึกษาสมุนไพรมาใช้ในการเปรียบเทียบกับสรรพคุณของยาแผนปัจจุบัน พบว่าได้ผลใกล้เคียงกัน (ยุทธพงษ์ ศรีมงคล และคณะ, 2550) ทำให้การใช้สมุนไพรจึงนำมาเป็นทางเลือกหนึ่งของการรักษาที่มีนโยบายและทิศทางการพัฒนาอย่างต่อเนื่องในปัจจุบันมีการนำความรู้ด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา

ร่วมการรักษาหรือการฟื้นฟูที่ถูกต้องด้วยมาใช้ได้แก่ กายภาพบำบัด การรักษาด้วยยา การฟื้นฟู
ภายหลังการบาดเจ็บและการใช้หลักการทางโภชนาการก็สามารถนำมาใช้ผสมผสานกันได้
(ลัดดาวัลย์ บุญรัตนกรกิจ, นกคณ ทองนพเนื้อ, สถาพร นิมกุลรัตน์ และอรลักษ์ณา แพร่ดกุล, 2550)

สมุนไพรไทยจัดอยู่ในกลุ่มที่ 2 จีน (Chinese Traditional) (Rotblatt & Ziment, 2002)
พื้นฐานการใช้สมุนไพรมาจากสูตรรวมที่มีการใช้สมุนไพรหลายประเภทร่วมกัน สันฐานวิทยา
ของพืชสมุนไพร มีการแบ่งตามลักษณะได้ 5 ประเภทได้แก่ ประเภทต้นทั้งมีแก่นและไม่มีแก่น
ประเภทเถา ประเภทหัวหรือมีลำต้นเป็นเหง้าอยู่ใต้ดิน ประเภทผักและประเภทหญ้าและ การ
เลือกใช้จึงมักจะเลือกสมุนไพรตามภูมิภาคของประเทศ มาใช้ดังนั้นการอยู่ในเขตใกล้เคียงกัน
ภูมิอากาศคล้ายคลึงกัน วัฒนธรรมและประเพณีมีการแลกเปลี่ยนกันทำให้ความรู้และการใช้
สมุนไพรจึงมีคล้ายคลึงกัน

ฤทธิ์ทางเคมีของสมุนไพร (Chemistry of Herbal Medicine)

พืชสมุนไพรมีจำนวนมากและปริมาณของสารเคมีที่เป็นส่วนประกอบมีมากมายหลาย
ชนิด การใช้มักนำมาใช้โดยตรงหรืออาจนำมาใช้ในรูปของวัตถุดิบเบื้องต้นในการสกัดสารเคมี
ต่างๆเพื่อการผลิตยาแผนปัจจุบัน สารเคมีในพืชสมุนไพรแตกต่างกัน การจัดกลุ่มหรือการจำแนก
สามารถทำได้หลายวิธีเช่น การจำแนกตามลักษณะของการใช้ การจำแนกฤทธิ์ที่สมุนไพรมีต่อ
ระบบร่างกาย ตามสรรพคุณ และส่วนของพืชมาทำยา สารเคมีที่เป็นองค์ประกอบหลักของ
สมุนไพรมีมากมายหลายชนิด และที่มีผลต่อสรีรวิทยาของร่างกายมีการจำแนกเป็นกลุ่มได้แก่ อัลคาล
ลอยด์(Alkaloids), ไบโอฟลาโวนอยด์ (Bioflavonoids), เอสเซนเชียลออยล์ (Essential Oils), โกลโค
ไซด์(Glycosides), ฟีนิล โพรพานอยด์ (Phenylpropanoids), เรซิน (Resins), ซาโปนิน(Saponins),
สเตอรอล (Sterols), แทนนิน(Tannins), เทอพีน, เทอพีนอยด์(Terpenes, Terpenoids)

กลุ่มที่รู้จักอย่างดีในกลุ่มโกลโคไซด์ ที่มีโสมหลากหลายชนิดที่เป็นหลัก โดยผลของโสมต่อ
กีฬาอื่นๆได้แก่การเพิ่มความอดทนและระยะเวลาในการออกกำลังกายหรือแข่งขันให้นานขึ้น
(Ng& Ng, 1986; cited in McNaughton & Egan, 1989, Von Ardenne& Klemme, 1987) ต้องการ
การเพิ่มขนาดและความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (McNaughton & Egan, 1989) เพิ่มสมรรถภาพทั้ง
ความอดทนและความแข็งแรง (Tesch, Johansson, & Kaiscr, 1987) ร่างกายฟื้นสภาพเร็วขึ้น การ
สร้างกล้ามเนื้อ (Build Muscle Mass) และการลดไขมันในร่างกาย (Marasco, Vargas, Villagomez,
& Infantic, 1996) ทั้งหมดนี้ล้วนเป็นเหตุผลของการใช้โสมในการกีฬา โสมมีหลายชนิด กลุ่มของ
โสมที่ใช้ในการออกกำลังกายและกีฬามีทั้งโสมจากจีนและเกาหลี โสมไซบีเรีย เป็นต้น โดยการ
คาดหวังจากผลการด้านความเครียด การเพิ่มความอดทนและความแข็งแรง โดยผลข้างเคียงคล้ายกับ
สารกระตุ้นและการห้ามใช้กับผู้เป็นโรคความดันโลหิตสูง

พืชตระกูลขิงขมิ้นเบอร์ ออฟฟิซินาเล่ที่รู้จักกันคือขิงใช้กันมากโดยเฉพาะอายุรเวทและแพทย์แผนจีนโดยสรรพคุณใช้ในการรักษาหอบหืด เบาหวาน คลื่นไส้ เป็นลม โรคข้อและอาการปวดฟัน (Afzal, Al-Hadidi, Mcnon, Pesek & Dhami, 2001; Ali, Blunden, Musbah, Tanira & Nemmar, 2008) สารประกอบในขิงขิงเจอร์รอลและซาโกสสามารถออกฤทธิ์ด้านไซโคลออกซีจีเนส (Cyclooxygenase; COX) 1 และ 2 การสังเคราะห์สารลิโคทิน (Leukotriene) และกระบวนการสร้างสารด้านการอักเสบไซโตไคน์ โดยสารสกัดขิง 6-ขิงเจอร์รอลและขิงสกัดสามารถออกฤทธิ์ลดการบวมของอวัยวะของสัตว์ทดลองได้ (Ojewole, 2006; Young et al, 2005) จากกลไกการทำงานลดอาการปวดจากส่วนประกอบของขิงที่ออกฤทธิ์ด้านการหลั่งสารพรอสตาแกลนดินและลิโคทินทั้งส่วนกลางและส่วนปลาย

1.2 รูปแบบ (Form) และขนาด (Dose) ของสมุนไพร

รูปแบบ (Form)

ในปัจจุบันมีการใช้สมุนไพรในรูปแบบของแข็งหรือแคปซูลจำนวนมากกว่ารูปของเหลวโดยสมุนไพรจากสูตรเดิมมักทำในรูปแบบของเหลวหรือสารสกัดเข้มข้น รายละเอียดของขนาดของการใช้สมุนไพรจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งที่ผู้บริโภคและผู้เชี่ยวชาญสุขภาพทั่วไปควรทำความเข้าใจ เนื่องจากมีหลายรูปแบบเช่นรูปแบบของแข็ง (Solid) ของเหลว (Liquid) สารสกัดเข้มข้น (Fluid Extracts) และสารสกัดจากแอลกอฮอล์ (Tinctures)

อัตราส่วนของสารสกัดสมุนไพร (Herb-to Extract Ratio) ส่วนใหญ่สมุนไพรมีการใช้ในขนาดดิบหรือผ่านกระบวนการเล็กน้อยเช่น 2 กรัมของรากแห้ง หรือ 500 มิลลิกรัมของการทำให้แห้ง (Dehydrate) หรือ อบแห้ง (Freeze Dried Leaves) ในการใช้ผลิตภัณฑ์สมุนไพรที่วางขายในตลาดเพื่อสุขภาพจะพบขนาดการใช้ เช่น 900 มิลลิกรัมของ สารสกัดในอัตราส่วน 5:1 ความหมายของอัตราส่วนที่ปรากฏจะเป็นน้ำหนักของสมุนไพรแห้งก่อนนำมาผลิตและตัวหลังจะแสดงปริมาณหรือน้ำหนักหลังกระบวนการผลิตสมุนไพร แสดงตัวอย่างเช่น สารสกัดจากแอลกอฮอล์ (Tincture) 1:5 หมายถึงสมุนไพรแห้ง 1 กรัม จะผลิตเป็นของเหลวจำนวน 5 ซีซีในขั้นสุดท้าย

สมุนไพรที่มีส่วนผสม 1:1 หมายถึง สมุนไพรแห้ง 1 กรัมจะสามารถสกัดได้เป็นสารสกัดสุดท้ายจำนวน 1 ซีซี ส่วนในรูปแบบของแข็ง (Solid) 10:1 หมายถึงสมุนไพรแห้ง 10 กรัมสามารถสกัดเป็น 1 กรัมโดยส่วนต่างๆของสมุนไพรแห้งเช่นใบ ราก ดอกและอื่น ๆ จำนวน 1 กรัมสามารถนำมาทำเป็นส่วนผสมต่างๆดังนี้ รูปแบบแรก 5 มิลลิกรัมของ 1:5 ชนิดน้ำ รูปแบบที่สอง 1 มิลลิกรัมของ 1:1 ชนิดน้ำ รูปแบบที่สาม 250 มิลลิกรัม ของสารสกัด (Solid Extract) 4:1 และรูปแบบที่สี่ 200 มิลลิกรัมของชนิดผง (Powder) 5:1 สรุปเป็นตารางที่ 2.2 ดังนี้

ตาราง 2.2 รูปแบบ อัตราส่วนและความหมายของสมุนไพร

รูปแบบ	อัตราส่วน	ความหมาย
ของแข็ง (Solid) เช่น	10 : 1	หมายถึงสมุนไพรแห้ง 10 กรัมสามารถสกัดเป็น 1 กรัม
ของเหลว (Liquid)	1:5 1:1 4:1	รูปแบบแรก 5 มิลลิลิตรของ 1:5 ชนิดน้ำ รูปแบบที่สอง 1 มิลลิลิตรของ 1:1 ชนิดน้ำ รูปแบบที่สาม 250 มิลลิกรัม ของสารสกัด (Solid Extract) 4:1
สารสกัดเข้มข้น (Fluid Extracts)	1:1	แบบสกัดมีตัวทำละลายเป็นเอทานอล หมายถึง สมุนไพรแห้ง 1 กรัมสามารถสกัดเป็น สารสกัดสุดท้ายจำนวน 1 ซีซี
สารสกัดจากแอลกอฮอล์ (Tinctures)	1:5	หมายถึงสมุนไพรแห้ง 1 กรัม จะผลิตเป็น ของเหลวจำนวน 5 ซีซีในขั้นสุดท้าย A Tincture หมายถึงการสกัดด้วยตัวทำละลาย เช่นทิงเจอร์หรือแอลกอฮอล์มีหน่วยที่ใช้เป็น มิลลิลิตร

การบันทึกอัตราส่วนของการสกัดสามารถนำมาคำนวณการเตรียมสมุนไพรก่อนทำการผลิตได้ การผลิตสมุนไพรสามารถทำได้หลายรูปแบบโดยมีปัจจัยมากมายที่ทำให้ส่วนผสมหรือคุณภาพของสมุนไพรมีการเปลี่ยนแปลงเช่น คุณภาพของสมุนไพรที่นำมาผลิต วิธีการอบแห้ง กระบวนการผลิตหรือการสกัดที่เปลี่ยนแปลง และการเก็บรักษาสมุนไพรล้วนเป็นสาเหตุที่สำคัญของคุณภาพในการผลิตสมุนไพร จากการศึกษาของ (Nicoll, & Henein, 2007) การนำจึงมาใช้ในการรักษาโรคหัวใจโดยผลจากการออกฤทธิ์ด้านการอักเสบ การป้องกันสารก่อมะเร็ง การออกฤทธิ์ด้านการแข็งตัวของเกร็ดเลือด การลดความดันโลหิต และการลดไขมันในสัตว์ทดลองและห้องทดลอง การทดลองในมนุษย์ยังมีการศึกษาน้อยและใช้ขนาดยาที่ต่ำเกินไปทำให้ไม่สามารถสรุปได้ชัดเจน แต่ในการใช้ขนาด 5 กรัม นั้นสามารถมีผลในการออกฤทธิ์ด้านการแข็งตัวของเกร็ดเลือด การศึกษาในคนยังต้องการความเหมาะสมในเรื่องของขนาดยาและการสังเคราะห์สารเพื่อนำมาใช้ อย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแบบการใช้สมุนไพร ใน รูปแบบดั้งเดิมในรูปของเหลว (Liquid Dosage Forms)

รูปแบบของสมุนไพรที่เป็นของเหลวมีหลายรูปแบบเช่นการแช่สมุนไพร (Infusions) การสกัดด้วย
ด้วยการต้ม (Decoctions) สารละลายแอลกอฮอล์ด้วยยาที่ทำจากพืชหรือเรียกว่าทิงเจอร์ (Tincture)
และ แบบสกัด (Extracts) นิยมใช้กันมานานโดยสามารถดูดซึมได้ดี สามารถเปลี่ยนแปลงขนาดที่
ใช้ได้และเก็บรักษาได้และสามารถพกพาได้ การใช้ยาและการลดประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับขนาดและ
กลั่นและการระเหยของแอลกอฮอล์ในส่วนผสม โดยเฉพาะแบบทิงเจอร์ และแบบสกัด โดยมีตัวทำ
ละลายเป็นเอทานอล ส่วนใหญ่มักพบว่าสมุนไพรในรูปของเหลวจะทำให้ผู้ใช้สับสนและได้รับ
ขนาดยาไม่แน่นอนเช่นขนาดของสารสกัด 1:1 จะมีความเข้มข้นมากกว่า 5 เท่าของแบบทิงเจอร์ 1:5
tincture นอกจากนี้ส่วนประกอบสำคัญในการผลิตเช่น เทคนิค มาตรฐานและสมุนไพรที่นำมาผลิตมี
วิธีการแตกต่างกัน ทำให้ได้รับสมุนไพรไม่ได้มาตรฐานที่กำหนด รูปแบบหลักของการผลิต
สมุนไพรมี 2 วิธีดังนี้

1. การใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย (Water Extractions) การใช้น้ำเป็นตัวทำละลายเป็นวิธีที่
ง่ายและใช้บ่อยเช่น เทนินและกลุ่มไกลโคไซด์แต่น้ำไม่ใช่ตัวทำละลายที่ดีเนื่องจากการไม่ละลาย
ของสารบางกลุ่มเช่นอัลคาลอยด์ และทำให้เกิดการปนเปื้อนจากเชื้อแบคทีเรียได้ง่าย ดังนั้นจึงต้อง
แช่ในตู้เย็นหรือทิ้งไว้ในเวลาไม่นาน นอกจากนี้การเปลี่ยนสีกลิ่นและรสชาติยังเกิดได้เร็วและทำให้
มีอายุการใช้งานสั้นลง

1.1 วิธี การแช่สมุนไพร (Infusion) หรือเรียกว่าเป็นวิธีที่ใช้ในการชงชาเข้มข้นจากใบ
ดอก ลำต้นและผล การเตรียมส่วนใหญ่เป็นการต้มน้ำและใส่สมุนไพรภายหลัง โดยส่วนใหญ่ใช้น้ำ
8 ออนซ์ (240 ซีซี) เมื่อน้ำเดือดแล้วใส่สมุนไพร 2-3 ช้อนชาประมาณ 10-15 นาทีจะทำให้สารจาก
สมุนไพรออกมาผสมและนำไปใช้ได้

1.2 วิธีการสกัดด้วยวิธีการต้ม (Decoction) เป็นวิธีคล้ายกับการต้มกาแฟหรือชุป
โดยใส่น้ำและสมุนไพรพร้อมกันจะทำให้มีความเข้มข้นมากกว่าวิธีแรก และจะใช้กับสมุนไพรใน
ส่วนของลำต้น ราก และเปลือกไม้ โดยใช้น้ำ 12 ออนซ์ (360 ซีซี) ใช้สมุนไพร 2-3 ช้อนชา คำนวณ
5-15 นาทีหรือนานกว่านั้น สารจากสมุนไพรจึงละลายออกมา

1.3 การใช้ตัวทำละลายหรือไฮโดรแอลกอฮอล์เป็นตัวสกัด (Solvent or Hydro-
Alcoholic Extraction) ในการสกัดเพื่อการค้าส่วนใหญ่ใช้วิธีนี้เนื่องจากเหตุผลของการอยู่ได้นาน
การสกัดโดยใช้ ทิงเจอร์หรือการสกัดจากแอลกอฮอล์สามารถสกัดสมุนไพรออกและเก็บไว้นานเป็น
สัปดาห์ โดยตัวทำละลายจะให้ความเข้มข้น 30-70% ของเอทานอลและการผสมกับน้ำ และกลีเซ
อรอลก็สามารถนำมาเป็นตัวทำละลายแทนเอทานอลได้ การใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวสกัดสารจาก
สมุนไพรจะสามารถทำให้เก็บได้นานถึง 2-3 ปี โดยเหตุผลของการสกัดสารบางตัวที่ไม่ละลายน้ำ

โดยเมื่อสกัดแล้วจะนำมาผสมกับน้ำหรือเครื่องดื่มโดยใช้ 2-4 ครั้งต่อวัน เทคนิคในการสกัดโดยแอลกอฮอล์และการสกัดโดยตัวทำละลายอื่นก็มีความแตกต่างกันดังนี้

A Tincture หมายถึงการสกัดด้วยตัวทำละลายเช่นทิงเจอร์หรือแอลกอฮอล์โดยการสกัดในอัตราส่วนคือ 1:5 หรือแบบต่ำสุด เช่น 1:10 โดยสมุนไพรหลายชนิดจะมีหน่วยที่ใช้เป็นมิลลิกรัม (บางครั้งเป็นช้อนชาพูน) โดยเท่ากับสมุนไพรประมาณ 1 กรัมชนิดแห้ง

A Fluid Extract หมายถึง ตัวทำละลายที่คล้ายกับทิงเจอร์ แต่มีอัตราส่วนที่แตกต่างคือ 1:1, 1:2 หรือเข้มข้นมากกว่า (เช่น 1 กรัมของสมุนไพรสามารถได้ของเหลวประมาณ 1-2 มิลลิกรัม) โดยเป็นความเข้มข้นที่มากกว่า Tincture 5-10 เท่า ดังนั้นขนาดที่ใช้จึงทำเป็นหยดในปัจจุบันวิธีนี้สามารถเตรียมได้จากการเตรียมจากแบบของแข็งที่มีความเข้มข้นสูง

2 รูปแบบของแข็ง (Solid Dosage Forms)

ส่วนใหญ่ใช้ในรูปของยาเม็ดหรือแคปซูลเนื่องจากสะดวกและมีขนาดยาแน่นอนและไม่เกิดปัญหากับกลิ่นและความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ สมุนไพรดิบสามารถนำมาทำเป็นแคปซูลโดยวิธีอบแห้ง (Air-dried) แช่แข็ง (freeze-dried) หรือตากแห้ง (ground) แล้วนำมาใส่กับแคปซูลที่ทำจากเจลาตินหรือนำมาอัดเป็นเม็ด แต่ข้อควรระวังของสมุนไพรแบบแคปซูลในเรื่องรักษาระดับความเข้มข้นสมุนไพรในแคปซูลต้องมีการตรวจสอบสารหลักให้มีปริมาณหรือขนาดใกล้เคียงกัน

ขนาด (Dose) ของสมุนไพร

การเตรียมสมุนไพรแห้งขั้นตอนแรกต้องนำไปผสมกับสารละลายโดยมีการเตรียมการสกัดมาจากสมุนไพรที่เป็นน้ำ และนำสมุนไพรที่ได้มาทำให้น้ำระเหยออกให้หมดโดยมีวิธีการที่หลากหลายแต่จะเหลือความเข้มข้นของสมุนไพรไว้ในรูปของแข็ง โดยส่วนใหญ่อัตราส่วนของความเข้มข้นประมาณ 1:1 จากของเหลวที่สกัดเช่น จากอัตราส่วน 5:1 หมายถึง สมุนไพรแห้งจำนวน 5 กรัมนำมาทำให้เป็นความเข้มข้น 1 กรัมเมื่อสกัดแล้วความเข้มข้นมากที่สุดของแคปซูลที่สกัดสามารถทำได้ในอัตราส่วน 10:1 ถึง 50:1 เป็นต้นโดยตัวอย่างจากสมุนไพร EGb 761 เป็นการใช้สมุนไพรใบบับก (Ginkgo Biloba Leaves) ในอัตราส่วน 50:1 จากการสกัดรูปของแข็ง จึงใช้ใบบับกแห้งจำนวน 50 กรัมและทำเป็นสมุนไพรแห้งสุดท้ายจำนวน 1 กรัม

การผลิตแคปซูลของโรงพยาบาลเจ้าพระยาอภัยภูเบศรใช้อัตราส่วน 6:1 ใช้จึงสดจำนวน 6 กิโลกรัมและทำเป็นสมุนไพรแห้งสุดท้ายจำนวน 1 กิโลกรัมใช้บรรจุแคปซูลเหลือเพียง 800 กรัม (เอกสารแผนก Q.C., 2007)

กล่าวโดยสรุปคือการเตรียมการเตรียมสมุนไพรมีหลากหลายวิธีการและรูปแบบ แต่ที่สำคัญคือต้องมีอัตราส่วนที่แน่นอนและกระบวนการผลิตก็สามารถส่งผลกับฤทธิ์ทางเคมีของสมุนไพรอีกด้วย ในร้านค้าเพื่อสุขภาพโดยทั่วไปมักมีให้เลือกในหลายรูปแบบผู้บริโภคควรมีการ

พิจารณาในเรื่องของรูปแบบผลิตภัณฑ์และวัน เวลาที่ผลิตและวันหมดอายุที่ควรต้องมีการพิจารณา
 ทุกครั้งในการเลือกซื้อ ไม่ว่าจะเป็นผลิตภัณฑ์ในรูปของเหลวและรูปแคปซูลหรือชนิดเม็ด

1.3 สมุนไพรชิงอุทธรณ์ทางเภสัชวิทยาและผลการวิจัยทางคลินิก

จึงใช้กันอย่างแพร่หลายตั้งแต่อดีตเช่นจีนใช้ประโยชน์มากกว่าสองพันปี ในประเทศแถบ
 ยุโรปตอนเหนือมีการใช้มาเกือบพันปี โดยนำมาใช้ในรูปของอาหารและเครื่องดื่ม จึงมีรสชาติเผ็ด
 ร้อนและเหง้าของจึงสดมักนำมาทำเป็นยาสมุนไพร โดยมีสรรพคุณทางยาในเรื่องการแก้อาการ
 ท้องอืด ขับลม เป็นสารกระตุ้น และขับปัสสาวะ ในประเทศไทยผลิตภัณฑ์สมุนไพรชิงได้ขึ้น
 ทะเบียนในบัญชียาหลักแห่งชาติของไทยในกลุ่มเดียวกับ ขมิ้นชัน จึง ชุมเห็ดเทศ ฟ้าทลายโจร
 บัวบก พญาขอ พรึก และไพล (คณะกรรมการแห่งชาติด้านยา, 2543)

จึงมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Zingiber Officinale* Roscoe ชื่อสามัญไทย; จึง และชื่ออังกฤษ
 คือ Ginger โดยอยู่ในชื่อวงศ์ Zingiberaceae จึงมีชื่อท้องถิ่นว่าจึงแกลง จึงแดง (จันทบุรี) จึงเผือก
 (เชียงใหม่) สะเอ (กะเหรี่ยงแม่ฮ่องสอน) เป็นพืชล้มลุกมีเหง้าใต้ดิน ขึ้นเป็นกอ แตงหน่อใหม่ออก
 ทางด้านข้างค้านอกสุด เหง้าหรือลำต้นแท้ จะเป็นข้อๆเนื้อในสีขาวหรือสีเหลืองอ่อน สุดของข้อ
 จะเป็นยอดหรือต้นเทียม มีใบเดี่ยวออกเรียงสลับเป็นสองแถว รูปหอกกว้าง 1.5-2 ซม. ยาว 12-20
 ซม. โคนใบสอบแคบและจะเป็นกาบหุ้มลำต้นเทียม ตรงช่วงคอระหว่างกาบกับตัวใบจะหักโค้งเป็น
 ข้อศอก ดอก ออกเป็นสีขาวรวมกันเป็นช่อรูปหอกหรือกระบองโบราณ ผลกลม โคนเส้นผ่าศูนย์กลาง
 ประมาณ 1 ซม. ปัจจุบันมีการการปลูกจึงไม่ได้ใช้เมล็ดแต่ใช้การนำส่วนของรากนำมาปลูกใหม่
 คล้ายกับการโคลนนิ่ง เนื่องจากเทคนิคเดิมของการแพร่พันธุ์ที่ซ้ำจึงมีการพัฒนาการการปลูกจึงใน
 หลอดทดลองและสารที่ได้ให้ผลใกล้เคียงกับที่ปลูกภายนอก(Ma & Gang, 2006)

ข้อบ่งใช้ (Indication) จากสรรพคุณตำรายาไทย ใช้ส่วนของรากในการบำบัดรักษาโรค
 หลายชนิดคือ ทำให้เนื้อหนังสดชื่น ขับลม หลอดลำคอโปรง เจริญอาหาร แก้ลมในไฟธาตุและโรค
 ลมต่างๆ ฆ่าพยาธิ แก้บิด แก้อุจจาระเหลือง เนื่องจากน้ำดี ตกถ้าไส้ แก้โรคลม แก้หัว แก้เสมหะ แก้
 ไอ แก้น้ำมูกไหลเนื่องจากหวัดและสาเหตุอื่น ช่วยย่อยอาหาร แก้ท้องผูก ถ้าไส้ใหญ่อักเสบ ต่อต้าน
 การอักเสบของเยื่อเมือก แก้กตาและ ต้มกับน้ำรับประทาน ขับปัสสาวะ ลดไขมันเลวเร็ว แก้กลิ้นเหียน
 อาเจียน ทำให้อาการฟกช้ำบวมลดลง แก้วริดสีดวงทวารหนัก ระวังบริโทษ แก้กานขโมย เป็นยา
 อายุวัฒนะ ประคบแก้ปวดเมื่อย เหน็บชา พอกแก้เส้นเคล็ดบวม เคล็ดขัดยอก ลดความดัน ตำรายา
 กลางบ้าน ใช้เหง้าจึงแก้อาการท้องอืด เพื่อ จุกเสียด และปวดท้อง แก้อาการคลื่นไส้อาเจียน โดย
 ส่วนใหญ่ใช้จึงสดต้มน้ำดื่ม ตามตำราแพทย์แผนไทยใช้เพื่อบรรเทาอาการท้องอืด จุกเสียด แน่น
 ท้อง (แก้ลมในกองไฟธาตุให้กระจาย แก้อุจเสียด แก้มพรรคิก หมายถึง ช่วยขับลมในกรณี
 ท้องผูก)

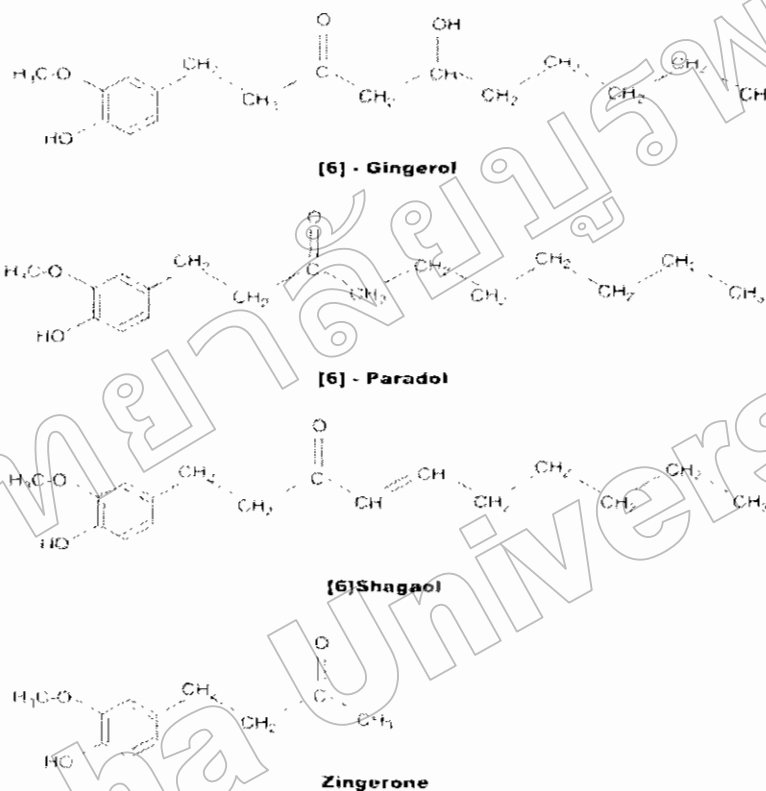
สารสำคัญในจิงประกอบด้วยน้ำมันหอมระเหย ร้อยละ 1-2 และสารพวกชั้น (Resinous Maters) ร้อยละ 5-8 ที่เหลือเป็นแป้งและเมือก น้ำมันหอมในจิงเป็นพวก Sesquiterpene hydrocarbons เช่น ซิงจีเบอร์รีน (Ziniberene) เคอร์คิวมิน (Curcumene) และฟาร์นิซีน (Farnesene) เป็นต้น นอกจากนี้ยังให้สารมีกลิ่นฉุนเฉพาะตัวเป็นพวก โมโนเทอร์พีนอยด์ (Monoterpenoid) สารพวก น้ำมันชั้น (Oleoresin) ได้จากผงจิงแห้งโดยวิธีหมักสกัด (Percolation) ด้วยตัวทำละลายแอลกอฮอล์ ที่มีสารสำคัญได้แก่ จิงเจอร์รอล (Gingerol) โชกอล (Shogaol) และ ซิงเจอโรน (Zingerone) น้ำมันชั้นที่สกัดใหม่จากเหง้าแห้งหรือสดจะมีสารหลักคือ จิงเจอร์รอล แต่ถ้าทิ้งไว้นานๆจะเปลี่ยนแปลงทางเคมีได้เป็น โชกอล และซิงเจอโรน ซึ่งแสดงถึงคุณภาพน้ำมันชั้นลดต่ำลง (พาณี ศิริสะอาด, สุวรรณเวชอภิกุล, ชีรวุฒิ มโนไพบูลย์, สุนีย์ จันทร์สกลา, และสุพล นชการกิจกุล, 2544)

ส่วนประกอบทางเคมีของจิงประสาทการรับรู้ของจิงอยู่ที่ปากและจมูกโดยมีสารเคมีธรรมชาติ 2 กลุ่มได้แก่

1 สารกลุ่มน้ำมัน โวลาทิล (Volatile Oils) เป็นสารที่ทำให้เกิดกลิ่นและรสชาติของจิง โดยมีส่วนประกอบหลักคือ Sesquiterpene Hydrocarbons ประกอบด้วย ซิงจีเบอร์รีน 35% เคอร์คิวมิน 18% และฟาร์นิซีน 10% และไบซาโบลีน (Bisabolene) และ (B-Sesquiphellandrene) เล็กน้อย ส่วนประกอบย่อยประกอบด้วยสารมากกว่า 40 ชนิด ได้แก่ สาร โมโนเทอร์พีนอยด์ ไฮโดรคาร์บอน (Monoterpenoid Hydrocarbons) พบใน 1,8-Cineole, Linalool, Bencol, Nerol และจีรานีโอล (Geraniol) มีการศึกษาการแยกสารไกลโคไซด์จากจิงอ่อนเพื่อนำมาวิเคราะห์โครงสร้าง Geranyl 6-O-Alpha-L-Arabinopyranosyl-Beta-D-Glucopyranoside (1) Geranyl 6-O-Beta-D-Apiofuranosyl-Beta-D-Glucopyranoside (2) และ Geranyl 6-O-Beta-D-Xylopyranosyl-Beta-D-Glucopyranoside (3) วิเคราะห์โดยเครื่อง spectrometric หลังจากเตรียมไกลโคไซด์, จีรานีโอลจากจิง ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าไกลโคไซด์จะสัมพันธ์กับส่วนประกอบที่มีกลิ่นของจีรานีโอล

2 ส่วนประกอบที่ไม่ใช่น้ำมัน โวลาทิล เป็นส่วนที่ประกอบด้วยสารกระตุ้นทางชีววิทยา โดยสร้างความรู้สึกร้อนในปาก สารประกอบหลักได้แก่ จิงเจอร์รอล ซาโกล พาราคอล และซิงเจอโรน กลุ่มของสารเคมีจิงเจอร์รอลมีลักษณะทางเคมีคล้ายกัน แต่แยกประเภทได้จากความแตกต่างกันของโครงสร้างที่ไม่มีกลุ่มเอคิล (Alkyl) ที่สามารถพบได้มากและเป็นสารหลักที่ประกอบในเหง้าจิงสดคือจิงเจอร์รอลและซาโกลเป็นสารอีกชนิดของจิงอยู่ในรูป จิงเจอร์รอลที่ไม่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ พบมากเป็นสารหลักในจิงแห้ง (Dried Ginger) (Jolad, Lantz, Chen, Bates & Timmermann, 2004) พาราคอลจะเหมือนกับจิงเจอร์รอลแต่อยู่ในรูปไม่มีไฮโดรเจน (Hydrogenation) ของซาโกล ดังแสดงในรูปภาพ 1 แสดงส่วนประกอบที่ไม่มีสารกลุ่มน้ำมัน โวลาทิล; จิงเจอร์รอล ซาโกล พาราคอล และ ซิงเจอโรน

3 ส่วนประกอบอื่น เมื่อมีการสกัด (Oleoresins) พบว่าจึงประกอบด้วยไขมัน (Fat) ของแข็ง (Wax) คาร์โบไฮเดรต วิตามินและเกลือแร่ เหง้าจึงสดยังประกอบด้วยเอนไซม์โปรติโอไลติกเรียกว่า ซิงจีเบอิน (Zingibain)



รูปภาพ 2-1 ส่วนประกอบที่ไม่มีสารกลุ่มน้ำมัน โวลาทาไทล์; จิงเจอร์อล โชกอล พาราดอลและ ซิงเจอโรน

กลิ่นของจิงสดมาจากฟีนอลิกลิโตนที่เป็นกลิ่นหลักของ [6]-จิงเจอร์อลเป็นสารที่ไม่คงตัวที่อุณหภูมิและสามารถเปลี่ยนกลับเป็น โชกอลที่มีอยู่ในจิงแห้งการนำเหง้าจิงมาปลูกใหม่เช่นที่ใช้เป็นพืชเศรษฐกิจมีการวิเคราะห์โดย HPLC สำหรับจิงเจอร์อลและ โชกอล [6]-จิงเจอร์อลจำแนกได้จากกลิ่นที่ฉุนของฟีนอลิก ในขณะที่ [8] และ [10]-จิงเจอร์อลมีความเข้มข้นน้อยกว่า พืชที่เพาะปลูกเรียกจางไมกันจะประกอบด้วยจิงเจอร์อล 3 ชนิดที่มีความเข้มข้นสูง จิงเจอร์อลมีความคงตัวในเอทานอลมากกว่า 5 เดือนและเก็บไว้ที่ 4 องศาเซลเซียส โชกอลไม่สามารถแยกได้จากการสกัดจิงสดในอุณหภูมิปกติซึ่งยืนยันได้จากการไม่พบสารชนิดนี้ในจิงสด และมีการศึกษาพบว่าความเข้มข้นของจิงเจอร์อลไม่แตกต่างระหว่างพืชที่โคลนและพืชที่เพาะปลูก

การวิเคราะห์พืชและการเผาผลาญของพืชตระกูลขิงและในกลุ่มใกล้เคียงกันของขิงในจีนัสขิงเบอร์ โดยการออกฤทธิ์ด้านการอักเสบของขิงเป็นหลัก องค์ประกอบทางเคมีของขิงทำให้รู้ถึงข้อแตกต่างของขิงในแต่ละชนิด โดยการวิเคราะห์หาองค์ประกอบและการเผาผลาญของขิงชนิดอออฟฟิซินาเล่ พบว่าแหล่งที่มาที่หลากหลายทำให้คุณภาพของขิงมีความแตกต่างกันในเรื่องส่วนประกอบของของสารที่ไม่ใช่โวลาทิลล์ออย โดยเฉพาะสาร[6], [8], และ [10] ขิงเจอร์อล ที่มีส่วนประกอบสำคัญในการออกฤทธิ์ด้านการอักเสบ

โดยส่วนประกอบแต่ละชนิดของขิงเจอร์อลมีการแยกโดยใช้เครื่อง HPLC การเปรียบเทียบสารสำคัญของตระกูลขิงชนิดอื่นกับขิงชนิดอออฟฟิซินาเล่พบว่ามี ความแตกต่างกันทั้งปริมาณและคุณภาพ การเปรียบเทียบลำดับผลในการออกฤทธิ์หรือฤทธิ์ทางเคมีต่อดีเอ็นเอ พบว่าขิงที่มีลักษณะดีเอ็นเอของพืชที่แตกต่างกันสามารถนำมาวิเคราะห์หาผลที่ใช้และลักษณะที่ปรากฏได้อย่างชัดเจน ในการทดลองทางห้องปฏิบัติการพบว่าสารสกัดในตระกูลขิงที่นำมาใช้ด้านการอักเสบโดยทดสอบการยับยั้งสาร LPS ที่มีผลต่อ PGE (2) และ TNF อัลฟา โดยค่าไบโอแอสเซย์หรือค่าความคงตัวยังไม่ชัดเจนในการวิเคราะห์ ดังนั้นการจำแนกจากการแยกเอกลักษณ์ทางเคมีและการบอกจำนวนที่ชัดเจนของส่วนประกอบที่ออกฤทธิ์จะสามารถดูค่าความคงตัวได้แน่นอนจากการใช้มากเกอร์ของโมเลกุลหรือทางเคมี (Jiang, Xie, Koo, McLaughlin, Timmermann, & Gang, 2006)

การวิเคราะห์สารสำคัญในขิง ใช้วิธี High pressure Liquid Chromatographic Analysis (HPLC) โดยถือว่าเป็นวิธีสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อหาความเข้มข้นมาตรฐานของขิงได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Balladin & Headley, 1998; Rai, Mukherjee, Mal, Wahile, Saha & Mukherjee, 2006) สารสำคัญที่ทำให้เกิดรสชาติของขิงได้แก่กลุ่มของ Phenolic Ketone ที่มีตำแหน่งต่างกัน ได้แก่ [4], [6], [8], [10], [12]-Gingerols โดยใช้ความเข้มข้นของแสงที่แตกต่างกันระหว่าง 200-500 nm (He, Bernart, Lian, & Lin, 1998) การวิเคราะห์สารสกัดจากขิงยังพบสารเดลิเฮปทานอยด์ (Diarylheptanoids) (Jiang, Timmermann & Gang, 2007) ที่ประกอบด้วย กลุ่ม Heptane ที่มีโครงสร้างแตกต่างจากกลุ่ม Aromatic Rings

การเตรียมและขนาดที่ใช้ การหาเอกลักษณ์ทางเภสัชเวท (Pharmacognostic Characters) มีลักษณะ 3 ประการ ได้แก่ ลักษณะทางมหภาค ภายนอก (Macroscopic) ที่ตรวจสอบ General Appearance ของลักษณะภายนอกส่วนที่เป็นลำต้นใต้ดิน (Rhizome) และ Organoleptic Properties คุณลักษณะของการตรวจสอบสี, คมกลิ่นและรสของเหง้าขิง, ลักษณะที่สองคือทางจุลภาค (Microscopic) ได้แก่การตรวจสอบภาคตัดขวางของขิงแห้งภายใต้กล้องจุลทรรศน์ และการตรวจสอบที่สามคือลักษณะผงสมุนไพรภายใต้กล้องจุลทรรศน์

การศึกษาของพาณิ ศิริสะอาด และคณะ (2544) ในการพัฒนาตำรับแคปซูลจากเหง้าชิง
คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในการพัฒนาแคปซูลจากเหง้าชิง ตามมาตรฐานสมุนไพร
ของ Thai Pharmacocia ได้แก่งลิบลอมปน ความชื้น ปริมาณเถ้า ปริมาณค่าการสกัด สารพิษตกค้าง
จากยาฆ่าแมลงและการปนเปื้อนจากสารหนูและตะกั่ววันแต่มีปริมาณน้ำหอมระเหยต่ำกว่าเกณฑ์ที่
กำหนด โดยเก็บรักษาชิงแคปซูลที่อุณหภูมิห้องคือ 25-45 องศาเซลเซียส พบว่าแคปซูลชิงทุกสูตร
ทั้งที่ฉายรังสีและไม่ฉายรังสีมีความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป แต่สูตรที่มีสารเติมแต่งและ
ไม่ฉายรังสีมีความชื้นเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่ผ่านไป แต่สูตรที่มีสารเติมแต่งและไม่ฉายรังสีจะมี
ความชื้นสูงกว่าสูตรที่ฉายรังสีในเวลาสุดท้ายของการทดสอบ

การวิเคราะห์ปริมาณสารสำคัญโดยวิธี HPLC พบว่ามีสารจิงเจอร์อล 1.70 ± 0.109
มิลลิกรัม/ กรัม หรือ 0.47 ± 0.024 มิลลิกรัมต่อแคปซูล (250 มิลลิกรัม) สำหรับการทดสอบความคง
ตัวทางเคมีในชิงแคปซูล เมื่อเก็บรักษาที่ 25 องศาเซลเซียส นาน 0, 3, และ 6 เดือน พบว่าปริมาณ
ของจิงเจอร์อลจะลดลงเมื่อเก็บที่อุณหภูมิสูงกว่า และเมื่อเก็บไว้นานขึ้นละในสูตรตำรับที่ใช้สารเติม
แต่งและไม่ฉายรังสีจะมีปริมาณสารจิงเจอร์อลสูงกว่าสูตรตำรับที่ใช้สารเติมแต่งและฉายรังสี
เล็กน้อย ดังนั้นการพัฒนาแคปซูลจากเหง้าชิง ควรประกอบด้วยสูตรตำรับที่มีสารเติมแต่งและควร
ผ่านการฉายรังสี การแตกตัวของชิงแคปซูลที่ไม่ใช้สารเติมแต่งทางยามีเวลาที่ใช้ในการแตกตัว
9.37 นาทีและเมื่อใช้สารเติมแต่งทางยาเวลาที่ใช้ในการแตกตัว 7.74 นาที

พิษวิทยาและข้อห้ามใช้ โดยเฉพาะส่วนประกอบที่ไม่ใช่สาร Volatile Oils ที่
ประกอบด้วย สารประกอบหลักได้แก่จิงเจอร์อล โชกอล พาราตอล และซิงจีโรน ในการศึกษาแบบ
หลอดทดลอง พบว่าจิงเจอร์อลและ โชกอล มีฤทธิ์เป็นสารก่อการกลายพันธุ์ได้ โดยจิงเจอร์อลจะมี
ฤทธิ์เป็นสารก่อการกลายพันธุ์ที่แรงกว่าโชกอลและ ในขณะที่ซิงจีโรนที่มีอยู่ในชิง ก็มีฤทธิ์เป็น
สารด้านการกลายพันธุ์ได้เช่นกัน (Fischer-Rasmussen, Kjaer, Dahl, & Asping, 1991) แต่ข้อมูลใน
ปี 2006 มี การประเมินผลทางเคมีของชิงสกัดต่อการทำลาย DNAและการพัฒนาเป็นมะเร็งใน
กระเพาะปัสสาวะ(Bidinotto, Spinardi-Barbisan , Rocha, Salvadori & Barbisan, 2006) พบว่าชิงไม่
เกิดขึ้นที่เป็นพิษและไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับในการทำลาย DNA ส่วนข้อห้ามใช้ ยังไม่มีข้อมูล
แต่ควรระวังการรับประทานชิงร่วมกับยาในกลุ่มด้านการแข็งตัวของเลือด และไม่แนะนำให้
รับประทานในเด็กอายุต่ำกว่า 6 ขวบ อาการไม่พึงประสงค์ ของชิงได้แก่ อาการแสบร้อนบริเวณ
ทางเดินอาหาร อาการระคายเคืองบริเวณปากและคอ

ขนาดและวิธีใช้ รูปแบบและความแรงยาแคปซูล ที่มีผงเหง้าชิงแห้ง 250 มิลลิกรัม และ
500 มิลลิกรัม ยาผงที่มีเหง้าชิงแห้ง ซองละ 1 กรัม ในการบรรเทาอาการท้องอืด ขับลม จุกเสียด
แน่นท้อง รับประทาน 2-6 กรัมต่อวันถ้าต้องการฤทธิ์บรรเทาอาการคลื่นไส้ อาเจียนจากเมาเรือ

เรือรับประทานวันละ 1-2 กรัม และฤทธิ์บรรเทาอาการคลื่นไส้ อาเจียน หลังการผ่าตัดรับประทาน ครั้งละ 1 กรัมก่อนการผ่าตัด 1 ชั่วโมง โดยในประเทศเยอรมันนี้มีการศึกษาของจิงซิงจิเบอร์ ออฟฟิ ชินาเล่จากผลการออกฤทธิ์ด้านการอาเจียน(Betz, Kranke, Geldner, Wulf & Eberhart , 2005) โดยการสืบค้นข้อมูลจาก MEDLINE, EMBASE, and the Cochrane-Library ผลการศึกษาพบว่ามี การรายงานที่ชัดเจนจำนวน 100 เรื่อง โดยมีการทดลองแบบดับเบิลบไลนด์จำนวน 24 เรื่อง จำนวน 1073 คน ที่ได้รับจิง ในรายงานจำนวน 16 เรื่องมีการให้ข้อมูลของการออกฤทธิ์ด้านการอาเจียนและ ผลของสารสำคัญของพืชที่ออกฤทธิ์ด้านการดำเนินโรค ผลจากการคลื่นไส้อาเจียนหลังการผ่าตัด (PONV) และการคลื่นไส้อาเจียนจากการแพ้ท้อง จากการศึกษาที่มีเพียงบางส่วนที่มีผลการทดลองใน เจริญปริมาณที่สามารถนำมาวิเคราะห์แบบเมต้า (Meta-Analysis) ได้ โดยส่วนใหญ่การวิเคราะห์และ รายงานผลเป็นแบบพรรณนา การวิเคราะห์ผลข้างเคียงของยามีจำนวน 15 รายงานในคนไข้ 777 คน ใน 3.3 % ได้รับผลข้างเคียงเล็กน้อย โดยส่วนใหญ่มีอาการจากระบบทางเดินอาหารที่ไม่รุนแรง และนอนไม่หลับโดยทั้งสองอาการไม่ต้องได้รับยาหรือการรักษาเพิ่มเติม มีเพียงการรายงานที่ รุนแรงเพียง 1 คนคือการแท้งที่อายุครรภ์ 12 สัปดาห์ในขณะที่จำนวนคนไข้ 136 คนที่ได้รับจิง ในช่วงไตรมาสแรก (3 เดือน) ไม่มีผลแทรกซ้อนใดๆ สรุปได้ว่ายังไม่พบข้อมูลที่ชัดเจนกับผลของ จิงในการรักษา PONV และการออกฤทธิ์ (Kinetosis) ส่วนผลในการรักษาการคลื่นไส้และอาเจียน สามารถแนะนำให้รับประทานได้ อย่างไรก็ตามควรมีระยะเวลาในการศึกษาให้มากขึ้น และ สามารถใช้ขนาด 6 กรัมต่อวันได้ โดยพบว่ามีผลข้างเคียงเพียงเล็กน้อย

การออกฤทธิ์ของจิงยังมีต่อระบบต่างๆของร่างกายดังนี้

ฤทธิ์ของจิงมีผลกับร่างกายหลายระบบได้แก่การด้านการอักเสบ (Lantz, Chen, Sarihan, Solyom, Jolad & Timmermann, 2007; Grzanna, Lindmark & Frondoza, 2005; Phan, Sohrabi , Polotsky, Hungerford , Lindmark & Frondoza, 2005; Jolad, Lantz et al., 2004; Penna, Medeiros, Aimbire, Faria-Neto, Sertié & Lopes-Martins, 2003; Shen, Hong & Kim , 2003; 2005) ผลต่อการ ด้านโรคข้ออักเสบ (Shen, Hong & Kim, 2005; Wigler, Grotto, Caspi & Yaron, 2003)

การศึกษาจิงในการกระตุ้นภูมิคุ้มกัน (Zhou, Deng & Xie, 2006) การศึกษาในประเทศ สวีเดน (Nicoll & Henein , 2007) ให้ความสนใจจิงในการรักษาโรคหัวใจการออกฤทธิ์ของจิงต่อ หัวใจหลอดเลือดและความดันโลหิตมีการใช้จิงในขนาดยาต่ำส่วนใหญ่โดยในการรักษาผลจากยา ด้านเกร็ดเลือดพบว่าขนาด 5 กรัมหรือมากกว่าจึงได้ และการศึกษาผลดีต่อการขยายหลอดเลือดจาก ผนังภายในหลอดเลือดหัวใจจากการกระตุ้นของสารสกัดจิง (Zo.Cr) (Ghayur, Gilani, Afridi & Houghton, 2005; Ghayur & Gilani, 2005) ศึกษาสารสกัดจิง (Zo.Cr) โดยใช้ขนาด (0.3-3 mg/kg)ใน หนู พบว่าสามารถลดความดันโลหิต

ระดับความหนักปานกลาง (Black & O'Connor, 2008) โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นกลุ่มนิสิตอายุในระดับวิทยาลัยจำนวน 25 คน ได้รับจึงขนาด 2 กรัมการเลือกจึงจำนวน 2 กรัมเนื่องจากขนาด 1-2 กรัมพบว่าไม่ผลต่อการกระตุ้นระบบประสาทส่วนกลาง และยาหลอกในการทดลองแบบดับเบิลบไลนด์ และครอสโอเวอร์และ 30 นาทีหลังจากนั้นมีการขี่จักรยานที่ระดับความหนัก 60% ของ $\text{Vo}_{2\text{ Peak}}$ การปวดกล้ามเนื้อต้นขา ค่าRPE ค่าอัตราการทำงาน การเต้นของหัวใจ (HR)และการใช้ออกซิเจน (Vo_2) มีการวัดทุก 5 นาทีในขณะที่ออกกำลังกาย และวัดค่าออกซิเจนขณะพัก และHR หลังจากออกกำลังกาย 20 นาที การเปรียบเทียบค่าของสารหลอกและจึงพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคลินิก และทางสถิติต่อการปวดกล้ามเนื้อ อัตราการทำงานการเต้นของหัวใจ และการใช้ออกซิเจนในระหว่างการออกกำลังกาย ค่า Vo_2 และ HR หลังการออกกำลังกาย 30 นาที ผลการวิจัยพบว่าไม่เกิดผลต่อการปวดกล้ามเนื้อในขณะที่ขี่จักรยานและจากผลนี้แสดงว่าพาราสตาเกลนดินไม่แสดงผลกับการปวดกล้ามเนื้อจากการออกกำลังกาย การรับประทานจึงสามารถเพิ่ม Vo_2 ในขณะพัก (Vo_2 recovery) ในสัตว์ทดลองคือม้าแต่ไม่เกิดผลในคน ผู้วิจัยจึงมีการแนะนำให้ทำในระยะเวลายาวนานกว่านี้เพื่อการศึกษาการเผาผลาญและการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อ

ตอนที่2 อัตราการเผาผลาญพลังงานขณะพักและค่าส่วนการหายใจ

2.1 อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายขณะพัก (Resting Metabolic Rate; RMR)

เมตาบอลิซึมของร่างกายเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสารอาหารเป็นพลังงานจากการเผาผลาญสารอาหารทั้งหมดของร่างกายจะเป็นจำนวนพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายใช้ในการดำรงชีวิตประจำวัน โดยเมตาบอลิซึมของร่างกายขึ้นอยู่กับสภาพร่างกายของแต่ละบุคคล และจำนวนพลังงานทั้งหมดที่ร่างกายต้องการขึ้นอยู่กับจำนวนพลังงานที่ใช้สำหรับการทำงานของอวัยวะต่างๆภายในร่างกายซึ่งมีค่าคงที่รวมกับพลังงานที่ใช้ในการทำกิจกรรม โดยจึงอาจออกส่งผลกับอัตราการเผาผลาญโดยของเหลวที่สกัดได้จากจึงสามารถเพิ่มการใช้ออกซิเจนของหนูทดลอง โดยมีการหลังสารอิพิเนฟรินและกระตุ้น TRPV 1 รีเซปเตอร์ การรับประทานจึง 30 กรัม หรือประมาณ 67 mg/kg ค่อน้ำหนักตัวสามารถเพิ่มระยะพักและการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อหลังการทดสอบโดยการออกกำลังกายสูงสุดของม้า แต่การศึกษาในคนการได้รับจึง 30 กรัมรวมกับการรับประทานอาหารเปรียบเทียบกับอาหารเพียงอย่างเดียวไม่พบการเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนของร่างกาย โดยการทดสอบผลของจึงในการเผาผลาญในระหว่างหรือหลังการออกกำลังกายยังไม่พบในคน

ภาวะที่ร่างกายทำงานในขณะที่ตื่นนอนและพักผ่อน โดยต้องการพลังงานจำนวนน้อยที่สุดที่เรียกว่าอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายขั้นพื้นฐาน (Basal Metabolic Rate; BMR)จะขึ้นอยู่กับมวลของโปรตีนไขมันและคาร์โบไฮเดรตในร่างกายที่มีอัตราการใช้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับ

จึงซึ่งจีเบอร์ ออฟฟิซินาเล่สามารถป้องกันภาวะเป็นพิษของตับ (Ajith, Hema & Aswathy, 2007) จึงต่อสภาพไต (Ajith, Nivitha & Usha, 2007) จึงกับภาวะน้ำตาลในเลือดต่ำ (Al-Amin, Thomson, Al-Qattan, Peltonen-Shalaby & Ali, 2006; Goyal & Kadnur, 2006; Ojewole, 2006; Bhandari, Kanojia & Pillai, 2005; Akhani, Vishwakarma & Goyal, 2004; Gonlachanvit, Chen, Hasler, Sun & Owyang, 2003)

การออกฤทธิ์ของจึงต่อสารต้านเกร็ดเลือด (Young et al., 2006; Jantan et al., 2005; Nurtjahja-Tjendraputra, Ammit, Roufogalis, Tran & Duke, 2003; Thomson, Al-Qattan, Al-Sawan, Alnaqeeb, Khan & Ali, 2002; Weidner & Sigwart, 2000)

การออกฤทธิ์ของจึงในการต้านมะเร็งและป้องกันเซลล์ (Chen et al., 2008; Tao et al., 2008; Ippoushi et al., 1997; Vijaya Padma, Arul Diana Christie & Ramkuma, 2007; Asnani & Verma, 2007; Ansari, Bhandari & Pillai, 2006; Bidinotto, 2006; Amin & Hamza, 2006; Dias, Spinardi-Barbisan, Rodrigues, de Camargo, Terán, & Barbisan, et al., 2006; Manju & Nalini, 2005; Masuda & Kikuzaki, 2004; Leal, Braga, Sato, Carvalho, Marques & Meireles, 2003; Nagasawa, Watanabe & Inatomi, 2002)

การออกฤทธิ์ของจึงกับระบบทางเดินอาหารและด้านการอาเจียน รักษากระเพาะอาหาร (Ghayur, Khan & Gilani, 2007; Siddaraju & Dharmesh, 2007; Riyazi, Hensel, Bauer, Geissler, Schaaf & Verspohl, 2007; Nostro, Cellini, Di Bartolomeo, Cannatelli, Di Campli, Procopio, Grande, Marzio & Alonzo, 2006; Ghayur & Gilani, 2005; 2006; Abdel-Aziz, Nahrstedt, Petercit, Windeck, Ploch & Verspohl, 2005; Chrubasik, Pittler & Roufogalis, 2005; Borrelli, Capasso, Pinto & Izzo, 2004; Eberhart, Mayer, Betz, Tsolakidis, Hilpert, Morin, Geldner, Wulf, 2003)

ผลของจึงในการต้านแบคทีเรีย เชื้อราและหนอนพยาธิ (Akoachere, Ndip, Chenwi, Ndip, Njock & Anong, 2002; Ficker, Smith, Akpagana, Gbeassor, Zhang, Durst, Assabgui & Arnason, 2003; Ficker, Arnason, Vindas, Alvarez, Akpagana, Gbécassor, De Souza & Smith, 2003)

ผลของจึงในการต้านความวิตกกังวล การออกฤทธิ์ของจึงในการต้านความวิตกกังวล และผลของจึงในรูปแบบของฟีนิลโพรพานอยด์และไฟโตเคมีคอล Nabekura, Kamiyama & Kitagawa, 2003)

ผลต่อการปวดกล้ามเนื้อต้นขาควอทไคเซป การบอกระดับความเหนื่อย (RPE) และอัตราการใช้ออกซิเจนในขณะพักโดยการทดสอบในระหว่างและหลังการออกกำลังกายแบบจักรยานใน

พื้นที่ผิวของร่างกาย โดย อัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายขึ้นพื้นฐาน หมายถึงจำนวนพลังงานน้อยที่สุดที่ร่างกายจำเป็นต้องใช้เพื่อให้ดำรงชีวิตอยู่ได้ต่อหน่วยเวลาหรือต่อตารางเมตรของพื้นที่ผิวของร่างกายต่อชั่วโมง โดยเนื้อเยื่อแต่ละชนิดของร่างกายมีกระบวนการเผาผลาญที่แตกต่างกันและให้ความร้อนแตกต่างกันเช่นสมองมีประมาณ 2 % ของน้ำหนักตัวจะให้ความร้อน 16% กล้ามเนื้อและผิวหนังมี 52 % ของน้ำหนักตัวจะให้ความร้อน 25 % ในขณะที่ร่างกายพักอยู่จะสำคัญของร่างกายเช่นหัวใจ สมอง ปอด ตับ และไตก็ต้องการพลังงานเพื่อรักษาสภาพในขณะที่พัก เรียกว่าอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายขณะพัก (Resting Metabolic Rate; RMR) ที่มีปัจจัยหลายประการที่ส่งผลดังนี้

ขนาดของร่างกาย (Body Size)

ขนาดของร่างกายของบุคคลที่มีขนาดใหญ่จะมีอัตราการเผาผลาญพลังงานสูงกว่าบุคคลที่มีขนาดของร่างกายเล็ก โดยน้ำหนักตัวที่แตกต่างกัน 10 กิโลกรัมสามารถทำให้เกิดการเผาผลาญที่แตกต่างกัน 120 กิโลแคลอรีต่อวัน ในวัยผู้ใหญ่เพศชายและหญิง หรืออัตราการเผาผลาญอาจแตกต่างกันถึง 200 กิโลแคลอรีต่อวัน โดยเฉพาะในผู้ที่มีการเคลื่อนไหวน้อย

สัดส่วนของร่างกาย (Body Composition)

สิ่งที่สำคัญต่ออัตราการเผาผลาญพลังงานเป็นหลักใหญ่คือสัดส่วนของร่างกายที่ไม่เป็นไขมัน (Fat Free Mass; FFM) หรือ สัดส่วนของกล้ามเนื้อ (Lean Body Mass; LBM) โดยสัดส่วนของร่างกายที่ไม่ใช่ไขมันจะมีอัตราการเผาผลาญของเนื้อเยื่อที่ทำงานตลอดเวลาและส่งผลกระทบต่อเปลี่ยนแปลงอัตราการเผาผลาญพลังงานของแต่ละบุคคล สัดส่วนกล้ามเนื้อและสัดส่วนไขมันที่เกิดการเปลี่ยนแปลงสามารถวัดได้ เพื่อการประเมินสภาพอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายจากการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อไขมันของผู้หญิงสุขภาพดีที่ไม่ได้ฝึกกีฬา (Bunc, 2000) โดยการศึกษาจากความต้องการพลังงานในการเคลื่อนไหวจากน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (Body Mass) ในการวิ่งระยะทาง 1 เมตรพบว่าสิ่งที่มีอิทธิพลมี 3 ประการคือระดับของออกซิเจนที่ใช้ในกล้ามเนื้อ (VO_2Max) ต่อ น้ำหนักตัว 1 กิโลกรัมที่สูงทำให้มีการใช้พลังงานได้ดี ประการที่สองคือพลังงานที่ใช้ในการวิ่งจะมากขึ้นเมื่อมีน้ำหนักตัวสูง เปอร์เซ็นต์ไขมันต่ำ และ FFM สูง และประการที่สามเมื่อมีระดับในการฝึกที่ลดลง (Decrease Training State) จะสัมพันธ์กับ เปอร์เซ็นต์ไขมันที่เพิ่มขึ้น

อายุ (Age)

การสูญเสียสภาพของเส้นใยกล้ามเนื้อจากอายุที่มากขึ้นจะส่งผลกระทบต่อสัดส่วนของร่างกายที่ไม่ใช่ไขมันและร่วมกับอัตราการเผาผลาญพลังงานที่ลดลงประมาณร้อยละ 2-3 ทุก 10 ปีในวัยผู้ใหญ่ตอนต้นโดยสิ่งเหล่านี้สามารถทำให้เกิดผลน้อยลงได้จากการออกกำลังกาย จากการออกกำลังกายจะสามารถรักษาสภาพเส้นใยกล้ามเนื้อและสามารถช่วยเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานของ

ร่างกายทารกและวัยรุ่นนั้นมีการเจริญเติบโตที่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว วัยทารกจะเก็บพลังงานจากสารอาหารไว้ร้อยละ 10-12 สำหรับการสร้างเนื้อเยื่อใหม่และเมื่อเข้าสู่วัยเด็กจะมีการเผาผลาญพลังงานที่ลดลงประมาณร้อยละ 1 ของพลังงานที่ต้องการ โดยการเพิ่มพลังงานใน 1-2 ปีแรกและวัยรุ่นทั้งหญิงและชายในช่วงวัยรุ่นมีการใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 5 กิโลแคลอรีต่อกรัมของเนื้อเยื่อที่เพิ่มขึ้น (McArdle, Katch & Katch, 2007)

จากการศึกษาผลของการเปรียบเทียบการออกกำลังกายของเพศชายในแต่ละช่วงวัยต่อการใช้พลังงานจากการเผาผลาญสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมัน (Stephens, Cole & Mahon, 2006) โดยศึกษา 4 กลุ่มได้แก่ ช่วงก่อนวัยรุ่น (Early-Pubertal; EP) วัยรุ่นตอนกลาง (Mid-Pubertal; MP) และวัยรุ่นตอนปลาย (Late-Pubertal; LP) และวัยผู้ใหญ่ตอนต้นใช้การวัด RER, 30-70% VO_{2peak} พบว่า กลุ่ม EP และ MP มีการใช้สารอาหารไขมันจำนวนมากกว่า นอกจากนี้ยังมีการใช้สารอาหารคาร์โบไฮเดรตจำนวนน้อยกว่าและการสร้างกรดแลคติกที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับในกลุ่ม LP และ YA และไม่มีความแตกต่างของแต่ละกลุ่มจากความหนักของงานที่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าการพัฒนาการของอัตราการเผาผลาญพลังงานที่คล้ายกับวัยผู้ใหญ่เกิดขึ้นในช่วงวัยรุ่นตอนกลางถึงตอนปลายและจะเปลี่ยนแปลงอย่างสมบูรณ์เมื่อสิ้นสุดช่วงวัยรุ่น

เพศ (Sex)

อัตราการเผาผลาญพลังงานที่แตกต่างกันในเพศหญิงหรือชายขึ้นอยู่กับขนาดของร่างกายและสัดส่วนของร่างกาย เพศหญิงที่มีส่วนสูงและน้ำหนักตัวเท่ากับเพศชายมีสัดส่วนของไขมันมากกว่ากล้ามเนื้อทำให้อัตราการเผาผลาญพลังงานต่ำกว่าเพศชายร้อยละ 5-10

สภาพฮอร์โมน (Hormone Status)

ฮอร์โมนมีผลกระทบโดยตรงต่ออัตราการเผาผลาญพลังงาน โดยเฉพาะกลุ่มที่มีเกิดความผิดปกติของต่อมไร้ท่อเช่นการทำงานของต่อมไทรอยด์ที่มากและน้อยเกินไป ส่งผลโดยตรงต่ออัตราการเผาผลาญพลังงานที่เพิ่มมากขึ้นและลดลง การกระตุ้นของระบบประสาทซิมพาธิคเมื่อเกิดความเครียด หรือการเปลี่ยนแปลงทางอารมณ์ จากการทำงานที่เพิ่มมากขึ้นของเซลล์จะส่งผลโดยตรงต่อการหลั่งฮอร์โมนอิพิเนฟรินที่มีผลโดยตรงต่อกระบวนการสลายกลูโคสให้เป็นพลังงาน (Glycogenolysis) ฮอร์โมนอื่นเช่นคอร์ติซอล (Cortisol) โกรทฮอร์โมน (Rowth Hormone) และอินซูลินล้วนมีการทำงานที่ส่งผลต่ออัตราการเผาผลาญ จากการศึกษา (Roelands et.al, 2008) การเพิ่มระดับฮอร์โมนอิพิเนฟรินอย่างรวดเร็วในอุณหภูมิปกติและในอุณหภูมิสูงจะลดสมรรถภาพทางกายแต่เมื่อเพิ่มระดับโดพามีนจะทำให้สมรรถภาพทางกายเพิ่มขึ้น ส่วนระดับของโกรทฮอร์โมนจะมีมากในระยะพักและเมื่อออกกำลังกายโกรทฮอร์โมนจะมีระดับต่ำกว่า

ในผู้หญิงวัยเจริญพันธุ์พบว่าอัตราการเผาผลาญพลังงานไม่คงที่ในช่วงของการมีประจำเดือน โดยอัตราการเผาผลาญพลังงานขั้นพื้นฐาน(Basal Metabolic Rate; BMR) มีความแตกต่างเฉลี่ย 359 กิโลแคลอรีต่อวันโดยวัดช่วงต่ำสุดของรอบเดือน (ประมาณ 1 สัปดาห์ก่อนไข่ตก ในวันที่ 14) และวัดช่วงสูงสุด (ช่วงก่อนมีประจำเดือน) โดยมีค่าเฉลี่ยของการใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น 150 กิโลแคลอรีต่อวันในระหว่างช่วงที่สองของเดือน

นอกจากนี้นักกีฬาที่มีการพัฒนากล้ามเนื้อมากจะสามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานขั้นพื้นฐานได้มากกว่าพวกที่ไม่ใช่นักกีฬาร้อยละ 5 จากการมีน้ำหนักของกล้ามเนื้อที่มากกว่า ในการออกกำลังกายเป็นประจำไม่ได้ทำให้เกิดอัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มในแต่ละหน่วยของกล้ามเนื้อในระยะยาวแต่การออกกำลังกายที่หนักมากและหนักแบบปานกลางในเพศชายจะทำให้กล้ามเนื้อมีการเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานได้ร้อยละ 8-14 โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยของแต่ละบุคคล ด้วยโดยใช้การวัดค่าอัตราการเผาผลาญพลังงานของร่างกายขณะพักเพื่อรู้ค่าสารอาหารที่ร่างกายใช้

ปัจจัยอื่นเช่นการเป็นไข้สามารถเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานประมาณร้อยละ 7 ต่ออุณหภูมิ 1 องศาที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิปกติ 98.6 องศาฟาเรนไฮต์และ อัตราการเผาผลาญพลังงานเพิ่มประมาณร้อยละ 13 ต่ออุณหภูมิ 1 องศาที่เพิ่มขึ้นจากอุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส สภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงมีผลต่ออัตราการเผาผลาญพลังงาน ประชากรในเขตศูนย์สูตรมีอัตราการเผาผลาญพลังงานที่เปลี่ยนแปลงร้อยละ 5-20 การออกกำลังกายที่มีอุณหภูมิสูงกว่า 86 องศาฟาเรนไฮต์จะเพิ่มอัตราการเผาผลาญร้อยละ 5 จากการทำงานเพิ่มมากขึ้นของต่อมเหงื่อ ในอากาศที่หนาวเย็นมีการเพิ่มอัตราการเผาผลาญพลังงานมากขึ้นเช่นกัน โดยใช้ในการรักษาอุณหภูมิจากอุณหภูมิความอบอุ่นจากไขมันในร่างกายและกรปกป้องจากการใส่เสื้อผ้าป้องกันความหนาว

ปัจจุบันในห้องปฏิบัติการจะใช้ค่าของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก (Resting Metabolic Rate; RMR) โดยการวัด 3-4 ชั่วโมงหลังจากมีอาหารเบา ๆ และไม่มีการเคลื่อนไหวร่างกาย โดยค่าที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าBMR เล็กน้อยในปัจจุบันจึงมีการใช้คำว่า RMR แทนคำว่า BMR ในหลายสถานการณ์ มีการศึกษาอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพักโดยการควบคุมที่ได้มาตรฐานพบว่ามีค่าที่เชื่อถือได้และมีค่าคงตัว (Haugen, et al., 2003) และในผู้ที่มีการออกกำลังกายแบบแอโรบิกยังพบว่าฮอร์โมนที่ผลต่อการเผาผลาญพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายด้วยดังแสดงในตาราง 2-3

ตาราง 2-3 ผลของฮอร์โมนที่มีต่อการเผาผลาญพลังงานในระหว่างการออกกำลังกายแบบแอโรบิก

การสร้างพลังงาน ATP ของระบบแอโรบิก	
หน้าที่ของฮอร์โมน และ อัตราการเผาผลาญ	ผลที่เกิดขึ้น
1. การกระตุ้นออกซิเดชันของ FFA	การเพิ่มความเข้มข้นของพลาสมา FFA เนื่องจากมีการเคลื่อนไหวของ FFA มากขึ้นจากเนื้อเยื่อไขมัน โดยมีการทำงานร่วมกับ (a) การเพิ่มขึ้นของฮอร์โมนในกระแสเลือดเช่นแอดรีนาลีน, นอร์แอดรีนาลีน, กลูคากอน, โกรทฮอร์โมนและคอร์ติซอล (b) การลดระดับอินซูลินในกระแสเลือด
2. การยับยั้งออกซิเดชันของ FFA	1. การเพิ่มขึ้นของแลคเตทในเลือด ระหว่างที่มีการออกกำลังกายหนักมากทำให้เกิดกระบวนการยับยั้งการสลายไขมัน 2. การเพิ่มความเข้มข้นของอินซูลินภายหลังการได้รับสารอาหารคาร์โบไฮเดรต
3. การกระตุ้นการทำงานของระบบ Oxidative Phosphorylation	1. การเพิ่มระดับความเข้มข้นของ ADP ในไมโทคอนเดรีย ที่ทำงานร่วมกับ ATP มี การแตกตัวในระหว่างที่กล้ามเนื้อหดตัว 2. การเพิ่มการขนส่งออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย
4. การยับยั้งการทำงานของระบบ Oxidative Phosphorylation	1. การลดความเข้มข้นของ ADP ในไมโทคอนเดรียโดยเริ่มมีการสร้าง ATP ในอิเล็กตรอนทรานสปอร์ตเชนหรือเมื่อกำลังในการออกกำลังกายลดลง 2. การลดประสิทธิภาพของออกซิเจนในไมโทคอนเดรีย 3. การลดค่าของ NADH และ FADH ₂ เมื่อการทำงานของระบบ TCA ลดลง

โดยความสำคัญของอัตราการเผาผลาญของร่างกายขณะพัก RMR มีความหมายต่อระบบการเผาผลาญพลังงานโดยรวมของเซลล์มีชีวิตที่ต้องการรักษาความสมดุลและการทำหน้าที่ของร่างกายโดยในขณะพักมีค่า 60-75% ของค่าที่วัดจากการใช้พลังงานทั้งหมดต่อวัน โดยมีวิธีการวัดค่าการเผาผลาญพลังงานของร่างกายสามารถวัดได้ 2 วิธีคือ การวัดโดยตรง (Direct Calorimetry) และการวัดโดยอ้อม (Indirect Calorimetry)

1 การวัดโดยตรง (Direct Calorimetry) เป็นการวัดค่าความร้อนที่ปล่อยออกมาจากร่างกาย โดยเครื่องมือที่เป็น Direct Calorimetry มีหลายวิธีเช่น เครื่องวัดแคลอรีจากอากาศ (airflow calorimeter) การนอนในเครื่องวัดแคลอรีจากการใส่ชุดมนุษย์อวกาศ (A Water Flow Calorimeter) การวัดความร้อนจากร่างกาย (Gradient Layer Calorimetry) เครื่องวัดแคลอรีที่มีน้ำไหลวน (Storage Calorimetry ตัวอย่างเช่นการนอนลงใน Respiratory Chamber ที่บุด้วยฉนวนและ

มีน้ำไหลวนเวียนอยู่รอบ Chamber โดยใช้น้ำเป็นตัวดูดความร้อนที่ร่างกายปล่อยออกมาทำให้น้ำมีอุณหภูมิเพิ่มขึ้น ทำให้สามารถคำนวณพลังงานความร้อนที่ร่างกายปล่อยออกมาได้ วิธีการเหล่านี้ไม่สะดวกและไม่นิยมใช้

2 การวัดโดยอ้อม (Indirect Calorimetry) หลักคิดจากพลังงานทั้งหมดที่เกิดจากปฏิกิริยาในร่างกายต้องการใช้ออกซิเจนเป็นหลัก ดังนั้น มีการวัด 2 แบบคือแบบเครื่องวัดที่มีระบบปิด (Closed-Circuit Spirometer) ที่มีการวัดจากออกซิเจน 100 เปอร์เซ็นต์และเครื่องวัดที่มีระบบเปิด (Open-Circuit Spirometer) ที่มีการวัดโดยการใช้แก๊สในอัตราส่วนของ ออกซิเจนร้อยละ 20.93: คาร์บอนไดออกไซด์ร้อยละ 0.03 และไนโตรเจนร้อยละ 79.04

เมื่อร่างกายใช้ออกซิเจนในการหายใจ 1 ลิตรจะปล่อยพลังงานออกมา 4.82 กิโลแคลอรี ถ้าในเวลา 1 ชั่วโมงใช้ออกซิเจนในการหายใจ 15 ลิตร แสดงว่าค่าของการเผาผลาญของร่างกาย $= 4.82 \times 15 = 72.3$ กิโลแคลอรีต่อชั่วโมงหรือ 1,735 กิโลแคลอรีต่อวัน ค่าที่ได้นี้เป็นค่าอัตราการเผาผลาญของร่างกายขั้นพื้นฐาน (Basal Metabolic Rate) ที่ต้องวัดขณะร่างกายมีการพักผ่อนมากที่สุด นิยมวัดในตอนเช้าหลังจากตื่นนอนโดยยังไม่ได้ทำกิจกรรมใดๆ และต้องวัดภายหลังจากกินอาหารมื้อสุดท้ายไปแล้ว 12 ชั่วโมงมีอาการสดชื่นแจ่มใส อยู่ภายในอุณหภูมิที่เหมาะสมและคงที่ ประมาณ 26 องศาเซลเซียสหรือ 78 องศาฟาเรนไฮต์ โดยในขณะที่วัดต้องไม่มีเสียงพูดคุยหรือเสียงรบกวนจากภายนอก ค่าปกติของผู้ชายน้ำหนัก 70 กิโลกรัมมีค่า BMR ประมาณ 1,660 กิโลแคลอรีหรือ 7,000 กิโลจูลต่อวัน (293 กิโลจูลต่อชั่วโมง) ผู้หญิงน้ำหนัก 55 กิโลกรัมมีค่า BMR ประมาณ 1,440 กิโลแคลอรี หรือ 6,010 กิโลจูลต่อวัน (251 กิโลจูลต่อชั่วโมง) ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือที่ใช้วัดโดยอ้อมในขณะที่มีการออกกำลังกายหลายชนิดที่นิยมใช้ได้แก่ เครื่องวัดที่ติดตัวได้ (Portable Spirometer) เทคนิคแบบกระเป๋ (Bag Technique) และเครื่องมือวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์ (Computerized Instrumentation)

ในการวัดค่าการเผาผลาญพลังงานวัดได้ 2 วิธีทั้งแบบโดยตรงและแบบอ้อมเหล่านี้ต้องมีการเทียบกับค่ามาตรฐานที่ใช้เพื่อให้มีค่าความเที่ยงตรงและความน่าเชื่อถือ โดยต้องมีการตั้งค่าของเครื่องมือโดยใช้ข้อมูลและวิธีการพื้นฐานที่ใช้เทียบค่าจาก วิธีการใช้รังสี (Doubly Labeled Water) วิธีการคำนวณอัตราการเผาผลาญพลังงาน (Metabolic Calculation) และวิธีการใช้ค่าอัตราส่วนการหายใจ (Respiratory Quotient; RQ)

2.2 ค่าเศษส่วนการหายใจ (Respiratory Quotient; RQ หรือ Respiratory Exchange Ratio; RER)

เมื่ออาหารถูกออกซิไดซ์ในร่างกายจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และพลังงานที่เกิดขึ้นจะผันแปร โดยตรงกับปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ อัตราส่วนของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่

ปล่อยออกมาต่อปริมาณของออกซิเจนที่ถูกใช้ไปสามารถวัดได้โดยใช้อัตราส่วนนี้เป็นตัวบ่งชี้ชนิดและปริมาณสารอาหารที่ถูกออกซิไดซ์ในร่างกายได้ อัตราส่วนของปริมาตรคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยออกมาต่อปริมาตรของออกซิเจนที่ถูกใช้ไป เรียกว่า ค่าเศษส่วนการหายใจ (Respiratory Quotient; R.Q. หรือ Respiratory Exchange Ratio; RER)

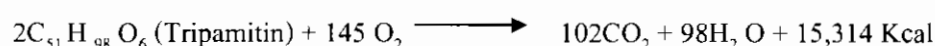
ปัจจัยสำคัญของการรักษาสสมดุลจากการใช้ประโยชน์จากคาร์โบไฮเดรตและไขมันในระหว่างการออกกำลังกายเรียกว่าหลักการเปลี่ยนแปลงพลังงาน (Crossover Concept) ที่ต้องการเพิ่มตำแหน่งของเนื้อเยื่อและการกระตุ้นสัญญาณภายในเซลล์ให้ไขมันมีการเคลื่อนไหวและเปลี่ยนแปลง ในกล้ามเนื้อลาย adipose tissue ระหว่างมีการออกกำลังกายร่างกายจะใช้คาร์โบไฮเดรตเพื่อเป็นพลังงานเพิ่มมากขึ้น โดยแสดงผลของค่า RQ ที่เพิ่มขึ้นและเมื่อเพิ่มความหนักในการออกกำลังกายกล้ามเนื้อจะต้องการคาร์โบไฮเดรตเพิ่มมากขึ้นจนทำให้ค่า RQ เข้าใกล้ 1.0 การเพิ่มขึ้นของค่า RQ ที่ใกล้กับ 1.0 แสดงถึงความต้องการน้ำตาลในกระแสเลือด และไกลโคเจนในกล้ามเนื้อแต่ไม่ได้แสดงค่าการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ในเลือดมากกว่าในกล้ามเนื้อ เมื่อออกกำลังกายจนใกล้หมดแรง ในเลือดมีการสร้างแลคเตทจำนวนมากนั้นร่างกายจะพยายามลดสภาพความเป็นกรด โดยการเพิ่มจำนวนคาร์บอนไดออกไซด์มากขึ้น การเพิ่มขึ้นของแลคเตทส่งผลกับการเพิ่มของคาร์บอนไดออกไซด์นั้นมาจากสาเหตุของการขับกรดคาร์บอนิกในเลือดเปลี่ยนกลับเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และเมื่อคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากกระแสเลือดจะเข้าสู่ปอดในการหายใจออก ทำให้ปริมาณของคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มมากขึ้น ด้วยเหตุผลนี้ค่าของ RQ ที่เข้าใกล้ 1.0 จึงไม่สามารถประมาณค่าของชนิดสารอาหารที่ใช้เป็นพลังงานของกล้ามเนื้อได้

เมื่อสารอาหารคาร์โบไฮเดรตถูกออกซิไดซ์ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



$$\text{R.Q} = \frac{6 \text{ ปริมาตร } \text{CO}_2}{6 \text{ ปริมาตร } \text{O}_2} = 1$$

สารอาหารไขมันในโมเลกุลมีจำนวนคาร์บอนมากและมีจำนวนออกซิเจนน้อยเมื่อถูกออกซิไดซ์ในร่างกายจะต้องใช้จำนวนออกซิเจนมากกว่าคาร์โบไฮเดรตปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นมีดังนี้



$$\text{R.Q} = \frac{51 \text{ ปริมาตร } \text{CO}_2}{72.5 \text{ ปริมาตร } \text{O}_2} = 0.7$$

สำหรับค่า R.Q. ของโปรตีนวัดได้โดยทางอ้อมเพราะการออกซิไดซ์สารอาหารโปรตีนในร่างกายไม่สมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ผลการวัดโดยอ้อมของโปรตีนมีค่า 0.8 นอกจากนี้ภายใน

ร่างกายและภายนอกร่างกายยังมีค่าของการใช้พลังงานจากสารอาหารแตกต่างกัน (Brooks, Fahey, White & Bald, 1999) จากตารางที่ 2-5 จะเห็นว่าค่า R.Q. แสดงอัตราส่วนของการใช้สารอาหารแตกต่างกันสำหรับค่า R.Q. ของโปรตีนวัดได้โดยทางอ้อมเพราะการออกซิไดซ์สารอาหาร โปรตีนในร่างกายไม่สมบูรณ์ทำให้ไม่สามารถวัดได้โดยตรง ผลการวัดโดยอ้อมของโปรตีนมีค่า 0.8 ในภาวะร่างกายผิดปกติเช่นผู้ป่วยที่เป็นเบาหวาน ค่า R.Q. จะลดลงเหลือประมาณ 0.7 และผู้ป่วยที่เป็นเบาหวานอย่างรุนแรงเคยมีรายงานค่า R.Q. ลดต่ำลงถึง 0.63 เพราะร่างกายใช้ไขมันมากขึ้นและใช้คาร์โบไฮเดรตลดลง นอกจากนี้ปริมาณของออกซิเจนผู้ป่วยที่เป็นเบาหวาน ไม่ได้ถูกนำไปใช้ในการออกซิไดซ์สารอาหารให้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำเท่านั้น อาจมีการใช้ออกซิเจนในการเปลี่ยนกรดอะมิโนให้เป็นน้ำตาลกลูโคส เพราะในโมเลกุลของน้ำตาลกลูโคสมีอะตอมของออกซิเจนมากกว่ากรดอะมิโน ทำให้มีการใช้ออกซิเจนมากขึ้น นอกจากนี้ผู้ป่วยยังสูญเสียน้ำตาลกลูโคสกับปัสสาวะด้วย โดยการใช้พลังงานสารอาหารทั้งภายในและนอกร่างกายแสดงใน ตารางที่ 2-8 ค่า R.Q. ที่สูงมากกว่า 1 อาจพบได้ในภาวะที่ร่างกายได้รับสารอาหารคาร์โบไฮเดรตมากเกินไป บางส่วนของน้ำตาลกลูโคสจึงถูกเปลี่ยนเป็นไขมันเก็บไว้ โดยการเปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสที่เป็นสารประกอบที่มีออกซิเจนภายในโมเลกุลมากเป็นไขมันซึ่งเป็นสารประกอบที่มีออกซิเจนภายในโมเลกุลน้อย จะทำให้มีออกซิเจนถูกปล่อยออกมาและถูกนำไปใช้ในการออกซิไดซ์สารอาหารทำให้ออกซิเจนจากการหายใจน้อยลงมีผลทำให้ค่า R.Q. สูงขึ้นได้

การแสดงค่าการใช้พลังงานสารอาหารทั้งภายในและนอกร่างกาย ในตารางที่ 2-4 และค่าอัตราส่วนของสารอาหารคาร์โบไฮเดรตและไขมัน แสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-4 ค่าการใช้พลังงานสารอาหารทั้งภายในและนอกร่างกาย

สารอาหาร	kcal/liter	RQ ($\text{VCO}_2 / \text{VO}_2$)	ภายในร่างกาย (kcal . g-1)	ภายนอกร่างกาย (kcal . g-1)
	O_2			
คาร์โบไฮเดรต	5.05	1.00	4.2	4.2
ไขมัน	4.70	0.70	9.5	9.5
โปรตีน	4.50	0.80	4.2	5.7*
สารอาหารทั้ง 3 ชนิด	4.82	0.82	-	-
ภาวะอดอาหาร	4.70	0.70	-	-

* การเผาผลาญโปรตีนภายนอกร่างกาย > การเผาผลาญภายในร่างกาย $5.7-4.2 / 5.7 = 28\%$

ตารางที่ 2-5 อัตราส่วนคาร์โบไฮเดรตและไขมันที่ถูกออกซิไดซ์และความร้อนที่เกิดขึ้นจากค่า R.Q

R.Q.	% ออกซิเจนที่ใช้		% ความร้อนเกิดโดย		Kcal/litre	
	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	คาร์โบไฮเดรต	ไขมัน	O ₂	CO ₂
0.70	0	100	0	100	4.68	6.69
0.71	1.0	99	1.1	98.9	4.69	6.69
0.72	4.4	95.6	4.7	95.2	4.70	6.53
0.73	7.8	92.2	8.4	91.6	4.71	6.45
0.74	11.3	88.7	12.0	88.0	4.72	6.38
0.75	14.7	85.3	15.6	84.4	4.73	6.31
0.76	18.1	81.9	19.2	80.8	4.75	6.25
0.77	21.5	78.5	22.8	77.2	4.76	6.18
0.78	24.9	75.1	26.3	73.7	4.77	6.12
0.79	28.3	71.7	29.9	70.1	4.78	6.06
0.80	31.7	68.3	33.4	66.6	4.80	5.99
0.81	35.2	64.8	36.9	63.1	4.81	5.94
0.82	38.6	61.4	40.3	59.7	4.82	5.88
0.83	42.0	58.0	43.8	56.2	4.83	5.82
0.84	45.4	54.6	47.2	52.8	4.85	5.77
0.85	48.8	51.2	50.7	49.3	4.86	5.72
0.86	52.2	47.8	54.1	45.9	4.87	5.66
0.87	55.6	44.4	57.5	42.5	4.88	5.61
0.88	59.0	41.0	60.8	39.2	4.90	5.56
0.89	62.5	37.5	64.2	35.8	4.91	5.51
0.90	65.9	34.1	67.5	32.5	4.92	5.47
0.91	69.3	30.7	70.8	29.2	4.93	5.42
0.92	72.7	27.3	74.1	25.9	4.94	5.37
0.93	76.1	23.9	77.4	22.6	4.96	5.33
0.94	79.5	20.5	80.7	19.3	4.97	5.29
0.95	82.9	17.1	84.0	16.0	4.98	5.24
0.96	86.3	13.7	87.2	12.8	4.99	5.20
0.97	89.8	10.2	90.4	9.6	5.01	5.16
0.98	93.2	6.8	93.6	6.4	5.02	5.12
0.99	96.6	3.4	96.8	3.2	5.03	5.08
1.0	100.0	0	100.0	0	5.04	5.04

ตอนที่ 3 การใช้ออกซิเจนสูงสุด

การขนส่งพลังงานและออกซิเจนของกล้ามเนื้อในขณะที่ออกกำลังกาย นั้นได้รับพลังงานจากสารอาหารและออกซิเจนซึ่งมีความจำเป็นในกระบวนการเผาผลาญพลังงานเพื่อการออกกำลังกาย การเปลี่ยนแปลงของระบบหัวใจหลอดเลือดและระบบการหายใจมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการเผาผลาญที่เพิ่มมากขึ้นและความเข้มข้นของการออกกำลังกาย ระยะเวลาที่ใช้ออกกำลังกายที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของสิ่งแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยการตอบสนองต่อการออกกำลังกายในปัจจุบันที่สำคัญของกล้ามเนื้อของระบบหัวใจ ระบบไหลเวียนเลือดและระบบการหายใจ และปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการสร้างพลังงานแบบ Aerobic Capacity เพื่อการรับ-ส่ง ออกซิเจนของเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายโดยมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับ อายุ, เพศ ความสามารถของปอด การหายใจเข้า-ออก การกระจายของอากาศ ระบบไหลเวียนเลือด ปริมาตรการสูดฉีดเลือด อัตราเดินของหัวใจ ออกซิเจนในเลือดแดง-ดำ เมตาโบลิซึมจากอาหาร การฝึกซ้อมชนิดของการออกกำลังกาย ความหนักเบาของงาน เวลาขนาดรูปร่าง การทำงานของเอ็นไซม์ในร่างกาย สิ่งแวดล้อม ที่สูง อุณหภูมิ

ระบบการไหลเวียนเลือดกับออกซิเจน

ระบบการไหลเวียนเลือดในขณะที่พัก อัตราการไหลเวียนเลือดในกล้ามเนื้อจะอยู่ประมาณ 20-30 กรัมต่อกล้ามเนื้อ 1 กิโลกรัมและความเข้มข้นของหลอดเลือดจะอยู่ประมาณ 100 ซีซี ต่อตารางมิลลิเมตร (mm^2) การทำงานของระบบประสาทซิมพัทติกจะสามารถทำให้หลอดเลือดแดงและหลอดเลือดฝอยมีการหดตัวจะทำให้เกิดการส่งผ่านเลือดชะงักได้ เมื่อออกกำลังกายจะเกิดกระบวนการเพิ่มการทำงานของระบบซิมพัทติก โดยหลอดเลือดที่อยู่ในกล้ามเนื้อที่มีการทำงานจะขยายตัวและความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอยจะเพิ่มมากขึ้นถึง 5 เท่า เมื่อเทียบกับระยะที่กล้ามเนื้อมีการพัก การออกกำลังกายจะทำให้เกิดการขยายของหลอดเลือดจากการทำงานของกล้ามเนื้อแล้วยังขึ้นอยู่กับปัจจัยของการเพิ่มการเผาผลาญของการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีการหดตัวทำให้เกิดการลดลงของ PO_2 , การเพิ่มขึ้นของ PCO_2 , การลดลงของ PH , การเพิ่มอุณหภูมิ, การเพิ่มความเข้มข้นของอะดีโนซีน , ไนตริกออกไซด์, ฟอสเฟต และโพแทสเซียม ในของเหลวที่อยู่ภายนอกเซลล์

การที่กล้ามเนื้อไม่มีการเคลื่อนไหวนั้นจะเกิดการหดตัวของหลอดเลือดซึ่งแตกต่างจากการขยายของหลอดเลือดของกล้ามเนื้อในขณะที่ออกกำลังกาย จะเกิดควบคู่กับการเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดที่ไหลเข้า-ออกหัวใจ (Cardiac Output) โดยการทำงานจะเพิ่มการไหลเวียนของเลือดในกล้ามเนื้อ จะอยู่ในช่วงแรกของการออกกำลังกาย (เช่น ในระยะเริ่มต้นที่ยังไม่มีการส่งผ่านของออกซิเจนไปสู่การไหลเวียนเลือดกล้ามเนื้อที่ทำงาน ปริมาณเลือดที่ไหลเข้า-ออกหัวใจ (Cardiac

Out Put) นั้นอยู่ใน 1 นาที นั้นมีค่าประมาณ 5-6 ลิตร ในผู้ใหญ่ การเพิ่มขึ้นของจำนวนเลือด เข้า-ออก ในหัวใจ ขณะที่การออกกำลังกายเป็นการเพิ่มความต้องการเลือดเพื่อให้เลี้ยงกล้ามเนื้อ ที่มีการทำงานอย่างไรก็ตามการเพิ่มขึ้นของเลือดที่ส่งออกจากหัวใจที่ต้องอาศัยการไหลเวียนเลือดของเนื้อเยื่อที่อยู่ทางด้านขวาของหัวใจที่เพิ่มขึ้นด้วย โดยที่ปริมาณความดันโลหิตของหลอดเลือดแดงนั้นจะต้องรักษาสมดุลของการไหลเวียนเลือด

จาก การขยายของหลอดเลือดในขณะที่กล้ามเนื้อมีการทำงานและทำให้ความต้านทานของหลอดเลือดฝอยลดลงและอาจทำให้เกิดความดันของหลอดเลือดแดงอาจลดลง โดยอาจไม่ได้มีการปรับตัวหรืออาจมีสาเหตุอื่นเกี่ยวข้อง การเพิ่มความต้านทานของหลอดเลือดนั้นจะต้องมีการรักษาสมดุล และมีการเพิ่มของการไหลเวียนของเลือดในระหว่างที่มีการออกกำลังกาย โดยเกิดผลหลายประการ ความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลาย และการไหลเวียนเลือดในขณะที่ออกกำลังกายทำให้เกิดผลดังนี้

การเกิดหลอดเลือดดำหดตัวนั้นเกิดจากการออกกำลังกาย จะกระตุ้นหลอดเลือดแดงและจากการหดตัวของผนังกล้ามเนื้อเรียบของผนังเซลล์แต่ละกล้ามเนื้อ จึงเกิดการหดของพื้นที่หน้าตัด

1) การหดตัวของหลอดเลือดดำ ขึ้นอยู่กับความจุของหลอดเลือดโดยในขณะที่พัก 65 % ของ ปริมาตรของเลือดจะพบว่าอยู่ในส่วนของหลอดเลือดดำ โดยมีปริมาตรบางส่วนที่ลัดเข้าสู่ส่วนของหลอดเลือดแดงและจากการหดตัว (การลดลงของพื้นที่หน้าตัดและการแคบลง) ของผนังของหลอดเลือดดำใหญ่

2) การหดตัวของกล้ามเนื้อ แขน-ขา โดยเฉพาะขา จะมีการกดทับในส่วนของหลอดเลือดดำที่เป็นเส้นขนานกับส่วนของเนื้อเยื่อของกล้ามเนื้อนั้น สาเหตุเกิดจากความเร็วของเลือดที่กลับสู่บริเวณอก เส้นของหลอดเลือดดำจะป้องกันไม่ให้เลือดไหลย้อนกลับ ที่เป็นผลจากบางครั้งที่เป็นการเชื่อมโยงตัวเชื่อมของ “การบีบที่เกิดขึ้นในกล้ามเนื้อ”

3) ในช่วงที่มีการหายใจเข้าความดันในช่วงอกจะลดลง โดยที่กล้ามเนื้อหน้าอกจะหดตัวในระหว่างที่มีการหายใจ โดยจะแฟบลงและเคลื่อนตัวลงด้านล่าง ที่เป็นสาเหตุของการกดทับลงในบริเวณช่องท้องทำให้เกิดอุณหภูมิในช่องท้องเพิ่มมากขึ้น และกดทับเส้นเลือดดำในช่วงท้อง ทำให้ส่งผลกับการขับเลือดออกจากช่วงอก โดยเส้นเลือดดำจะป้องกันการไหลกลับของเลือด ตลอดผลที่เกิดขึ้นที่เรียกว่า การบีบของช่วงอก โดยจะเกิดขึ้นเล็กน้อยเมื่อพัก และเมื่อออกกำลังกายจะต้องมีการระวังเนื่องจากมีทั้งการเพิ่มอัตราการหายใจ ความลึกของการหายใจ จะเพิ่มขึ้น

การเพิ่มขึ้นของปริมาณเลือดที่เข้า-ออกของหัวใจ ที่เพิ่มในระหว่างออกกำลังกายโดยจะพบในนักกีฬาชั้นเลิศในกีฬาประเภทความอดทน การเพิ่มขึ้นของเลือดที่ไหล เข้า-ออกหัวใจจะมี

ความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนักของการออกกำลังกายและจะทำให้เพิ่ม ทั้งส่วนของอัตราการเต้นของหัวใจ และการบีบของเลือดจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น

การเพิ่มอัตราการเต้นของหัวใจนั้นเป็นการกระตุ้น จากการทำงานของระบบประสาทซิมพาธิก ที่ทำงานของหัวใจและการลดการทำงานของประสาทซิมพาธิก ที่ทำงาน โดยการกระตุ้นโดยประสาทพาราซิมพาธิก อัตราการเต้นของหัวใจที่เพิ่มมากขึ้นจะเพิ่มเลือดที่ไหลเข้าสู่หัวใจ (SV) จะเพิ่มจาก 70 ml ในขณะพักจนถึง ในขณะที่ออกกำลังกายที่ 50% ของ $\dot{V}O_{2\max}$ โดยการเพิ่มของ SV จะไม่ขึ้นอยู่กับอัตราความเข้มของการออกกำลังกายที่หนักด้วย

การเพิ่ม SV จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อสิ้นสุดการบีบตัวของหัวใจ โดยอยู่ระหว่างช่วงของการพักระบบไหลเวียนของเลือด (Diastole) พบว่ามีการเพิ่มช่วงข้างของหัวใจห้องล่างเกิดในระหว่างที่มีการบีบตัว (Diastole) โดยเปรียบเทียบกับระยะที่พักระหว่างการบีบตัวที่มีอัตราความเข้มที่สูงมากขึ้น ในช่วงระหว่างการออกกำลังกายในระยะยาว โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ในสิ่งแวดล้อมที่มีอากาศร้อนจะมีแนวโน้มในการเพิ่ม อัตราการเต้นของหัวใจและจะมี SV ลดลง เมื่อออกกำลังกายเพิ่มมากขึ้นความดันของเส้นเลือดดำ โดยมีปริมาณเลือดที่จะกลับสู่หลอดเลือดที่ผิวหนัง เพื่อที่จะลดความร้อน เหนือจะออกมาจากผลจากปริมาตรของพลาสมา

เนื่องจากปริมาณออกซิเจนที่ใช้ของเนื้อเยื่อประมาณ 25% ของออกซิเจนจะขึ้นอยู่กับฮีโมโกลบินและโดยที่ค่ามากสำหรับการใช้ในเนื้อเยื่อ ปัจจัยอื่น ๆ ที่เกิดขึ้นคือฮีโมโกลบินได้แก่การเพิ่มขึ้นของ PCO_2 อุณหภูมิ และความเข้มข้นของ ไฮโดรเจนไอออน โดยจะลดลง (Affinity) ของฮีโมโกลบินในการขนส่งออกซิเจน โดยจะทำให้มีการได้รับ PO_2 ทำให้เนื้อเยื่อได้ ผลจากการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระบบการเผาผลาญระหว่างที่กล้ามเนื้อมีการออกกำลังกายในระหว่างกล้ามเนื้อมีการทำงาน ผลนี้จะมีผลในการเพิ่มความต้องการออกซิเจน โดยจะมีผลทำให้กล้ามเนื้อมีการหดตัวอย่างอัตโนมัติ และจะเพิ่มการได้รับ O_2 จากเลือด โดยระหว่างนั้นจะมีการคงสภาพความเข้มข้นของ PO_2 ไว้อย่างสูง เพื่อให้ได้ออกซิเจนจากเลือด เพื่อนำเข้าสู่ไมโทคอนเดรียของเซลล์กล้ามเนื้อ การเพิ่มของ PO_2 นั้น จะทำให้เกิดการแพร่อย่างรวดเร็วใน แต่ละส่วนของร่างกาย

ความจุของเลือดในการการขนส่งออกซิเจนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน และ PO_2 เมื่อมีออกซิเจนที่มีมาก โดยแต่ละกรัมของฮีโมโกลบิน ในเม็ดเลือดแดง จะสามารถขนส่งออกซิเจนได้ 1.34 เท่าจากปกติ ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือดของหญิงจะมีน้อยกว่าชายประมาณ 10% ทำให้มีข้อจำกัดในการขนส่งออกซิเจน และออกซิเจนที่ออกจากฮีโมโกลบิน ฮีโมโกลบินนั้นจะผ่านหลอดเลือดเข้าสู่แหล่งของเส้นเลือดฝอยของแต่ละเนื้อเยื่อและผลของฮีโมโกลบินของออกซิเจนจะสัมพันธ์กับปริมาณของ PO_2 และในหลอดเลือดน้อยโดย PO_2 จะต่ำลงมากกว่าในเส้นเลือดแดง

ปริมาตรของเลือดมีแนวโน้มจะลดลงเล็กน้อยในระหว่างที่มีการการออกกำลังกายจากผลของการสูญเสียปริมาตรของพลาสมา โดยจะสามารถลดลง 20% ในระหว่างที่มีการออกกำลังกายที่หนักมาก การสูญเสียปริมาตรพลาสมาจะส่งผลจากการที่มีการเปลี่ยนแปลงของโมเลกุลใหญ่ของไกลโคเจน เข้าสู่ โมเลกุลขนาดเล็ก ๆ (เช่น ไพรูเวท และ แลคเตท) โดยจะเพิ่มการหดตัวของส่วนหลอดเลือดฝอยที่อยู่ในกล้ามเนื้อจะทำให้หลอดเลือดฝอยเกิดแรงดันจากน้ำ โดยทำให้เกิดการเพิ่มมากขึ้นของน้ำ โดยส่วนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเป็ผลมาจากการเคลื่อนไหวของเหลวเข้าสู่หลอดเลือดจากเนื้อเยื่อและทำให้เกิดการบีบตัวของหลอดเลือด (เช่น ลำไส้ ปอด และ ไต) ในระหว่างการออกกำลังกาย การเพิ่มปริมาณของพลาสมาจะลดลง โดยตรงจากความสัมพันธ์กับประมาณความหนักของการออกกำลังกาย ($V\dot{O}_{2\max}$) ในการออกกำลังกายที่ความหนัก 70% ของ $V\dot{O}_{2\max}$ ปริมาตรของพลาสมาจะลดลง 10 - 20 % โดยเกิดขึ้นในช่วงนาทีต้น ๆ ของการออกกำลังกาย และจากการคงสภาพไว้เมื่อออกกำลังกาย และขึ้นอยู่กับอัตราการได้รับน้ำดื่ม ในระหว่างการออกกำลังกายและปริมาตรการสูญเสียเหงื่อที่เกิดจากอุณหภูมิจากสิ่งแวดล้อมและความชื้น ผลโดยรวมจะเกิดกับการสูญเสียปริมาตรของพลาสมาและจะเพิ่มขึ้นของเม็ดเลือดแดงและความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน การเพิ่มขึ้นของขนส่งออกซิเจนทั้งต่อเลือดหนึ่งลิตร แต่จะมีการใช้และการลดลงของปริมาตรเลือดทั้งหมดและการเพิ่มขึ้นของความหนืดของเลือด

ความดันโลหิต ค่าเฉลี่ยของความดันเลือดแดงจะมีแนวโน้มจะเกิดขึ้นเหมือนกันหรือการเพิ่มเล็กน้อย ตามรูปแบบของการออกกำลังกาย การเพิ่มขึ้นของการจับตัวของความดันโลหิตจะเกิดได้ ในขณะที่พักจนกระทั่งถึง ระหว่างที่มีการออกกำลังกายแบบไดนามิก โดยมีการฉีดของปริมาณเลือดจำนวนมากจากหัวใจในเวลาสั้น ๆ เพิ่มเข้าสู่ หลอดเลือดแดงใหญ่ อย่างไรก็ตามอัตราการเดินของหัวใจมีแนวโน้มจะตกเล็กน้อย ในระหว่างการออกกำลังกาย โดยเป็นผลที่เกิดจากความสมดุลระหว่างการเพิ่มขึ้นของ Cardiac Out Put และการลดลงของความต้านทานของหลอดเลือดส่วนปลายโดยมีการกำหนดให้เกิดการขยายตัวของหลอดเลือดและกล้ามเนื้อที่ออกกำลังกายอยู่

โดยส่วนใหญ่และการบีบตัวของหัวใจนั้นจะอยู่ประมาณ 60-80 ครั้งในขณะที่พักและเปลี่ยนแปลงในระหว่างที่มีการออกกำลังกายแบบไดนามิก การออกกำลังกายแบบใช้แรงต้าน ทั้งส่วนการจับตัวแล้วคลายตัวของหลอดเลือด (ความดันตัว บน- ล่าง จะเข้มข้นจะเกิดขึ้น โดยมีการเปลี่ยนแปลงกับ Cardiac Out Put เพียงเล็กน้อย ทำให้แรงดันของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นจะมีการบีบตัวจนทำให้ความดันตัวบนสูงขึ้น โดยจำนวนการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยหรือไม่มีเลือดที่จะไหลผ่านกล้ามเนื้อที่ทำงานแต่การทำงานของซิมพัติก จะเป็นตัวเชื่อมทำให้เกิดหลอดเลือดหดตัวโดยเกิดที่ส่วนหลอดเลือดของอวัยวะนั้น (ยกเว้นหัวใจ และสมอง) โดยการแสดงผลทำให้แรงต้านทาน

ของหลอดเลือด ส่วนปลายเพิ่มขึ้น และทำให้เกิดการเพิ่มทั้งความดันตัวบน-ล่าง จากการออกกำลังกายจากแหล่งพลังงานแบบแอโรบิก

การระบายอากาศของปอด

การออกกำลังกายนั้นเป็นการเพิ่มปริมาณของออกซิเจนที่ไปเลี้ยงเนื้อเยื่อ และการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์ในกล้ามเนื้อ การเกิด PO_2 ในหลอดเลือดดำที่เข้าสู่กล้ามเนื้อที่ทำงาน จะลดต่ำกว่าในขณะพักและปริมาณของ POC_2 จะสูงขึ้น การผสมผสานของเลือดดำที่ป้อนเข้าสู่ปอดและหัวใจห้องบนขวาจะเป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วนของ Blood Gas ในเส้นเลือดดำจากการทำงานในการเพิ่มขึ้นใน Cardiac Output ในระหว่างการออกกำลังและการทำให้เกิดผลทำให้มีการให้ออกซิเจนมากและปริมาณ CO_2 จำนวนมากก็มากขึ้นเช่นกัน

การระบายอากาศ เมื่อการหายใจของปอดเพิ่มในระหว่างการออกกำลังกายและจะใกล้เคียงกับการเผาผลาญ ที่จะมีสัดส่วนของการสร้างคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นโดยในระหว่างการออกกำลังกายแบบเบาและขนาดกลาง (ตั้งแต่ 55% ของ $VO_{2\max}$) ระหว่างการหายใจจะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงกับปริมาณการใช้ออกซิเจนในกล้ามเนื้อ และการสร้าง CO_2 จะสร้างมากในช่วง 20-25 ลิตร ในอากาศที่สูดเข้าไป โดยเป็นจำนวนของออกซิเจนต่อลิตรที่หายใจ ในภาวะดังกล่าว การเพิ่มปริมาณการหายใจจะเป็นผลโดยตรงจากการเพิ่ม Tidal volume (การหายใจลึก) และการออกกำลังกายที่มีความเข้มของความหนักของงานเพิ่ม, การหายใจเร็วเพิ่มขึ้น โดยมีความสัมพันธ์กันอย่างสำคัญ และโดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวของการหายใจ จะทำให้มี ปริมาณออกซิเจนที่สมบูรณ์ในเลือด เนื่องจากเลือดแดง PO_2 และ POC_2 จะปิดเมื่ออยู่ในระยะพัก

การออกกำลังกายที่หนักมาก การมีไฮโดรเจนไอออนจะหลุดออกจากกล้ามเนื้อที่ทำงาน และจะถูกทำให้เลือดมีสภาพเป็นกลาง ที่ปรากฏในพลาสมา ดังนั้นการกำจัด CO_2 จึงมีมากขึ้น และเมื่อมีไฮโดรเจนไอออน และแลกเตท จำนวนมากก็จะรวมกันทำให้ความเป็น กรด-ด่างในเลือดลดลง ผลที่เกิดขึ้นนี้จะทำให้กระตุ้นระบบหายใจเพิ่มขึ้น โดยไม่สมควรไปกับการเพิ่มปริมาณออกซิเจนที่ใช้ในกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นด้วยและเมื่อการออกกำลังกายสิ้นสุดของ $V^{\circ}O_{2\max}$ จะมีการได้รับอากาศเพิ่มขึ้น 40 ลิตร จากการหายใจผลที่เกิดขึ้นของจำนวน CO_2 จะมีการขับออกเพิ่มขึ้น

การได้รับออกซิเจนของกล้ามเนื้อระหว่างออกกำลังกาย

การได้รับออกซิเจนของกล้ามเนื้อใน หรือ ออกกำลังกายจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของเลือดและจำนวนของออกซิเจนที่กล้ามเนื้อสามารถนำไปใช้ โดยคิดเป็นจำนวน 1 ลิตรของเลือด โดยมีสูตร Fick คือ $VO_2 = Q \times (C_a O_2 - C_v O_2)$ เมื่อ $V^{\circ}O_2$ จะเป็นจำนวนของออกซิเจนที่ใช้ $C_a O_2 =$ ความเข้มข้นของ O_2 ในเส้นเลือดแดง (O_2 ต่อ เลือด 1 ลิตร) $C_v O_2 =$ ความเข้มข้นของ O_2 ในเส้นเลือดดำออกมาจากเนื้อเยื่อออกซิเจนจะมีการแพร่กระจายจากเลือดเข้าสู่กล้ามเนื้อและอัตราใน

การแพร่จะขึ้นอยู่กับ ความเข้มข้น PO_2 ระหว่างหลอดเลือดฝอยและไมโทคอนเดรียของกล้ามเนื้อ และยังมีระยะทางที่ครอบคลุมระหว่างที่ออกซิเจนมีการแพร่ด้วย

ค่าเฉลี่ยของระยะทางในการแพร่จะลดลงระหว่างการออกกำลังกายเนื่องจากมีการเปิดอย่างรวดเร็วของหลอดเลือดฝอยที่อยู่รอบ ๆ เส้นใยกล้ามเนื้อซึ่ง PO_2 ในกล้ามเนื้อ ที่ลดลงจะสามารถรักษาระดับโดยการจับของสารในเซลล์ที่เรียกว่า ไมโอโกลบิน โดยสารนี้จะสามารถในการจับออกซิเจน ได้มากกว่า ฮีโมโกลบินและสามารถทำให้ปริมาณออกซิเจนของ PO_2 ลดลงจำนวนมาก โดยสิ่งที่เกิดขึ้นนั้นเป็นการเผาผลาญที่เพิ่มไมโทคอนเดรียจะไม่สามารถที่จะสร้างลักษณะเช่นนี้ได้ในส่วน of เส้นใยกล้ามเนื้อ แต่จะมีการสร้างสารรองใกล้ส่วนของเส้นเลือดส่วนปลายที่ติดกับเส้นเลือดฝอย ระหว่างที่มีการออกกำลังกายหนักมาก ๆ กล้ามเนื้อจะไม่สามารถที่จะจับจำนวนออกซิเจนได้หมด ดังนั้นจึงถูกส่งผ่านไปโดยการไหลเวียนเลือดของเส้นเลือดแดง เรียกว่า การลำเลียงเลือดกลับทางเส้นเลือด จะมีมากในกล้ามเนื้อที่ทำงาน และมีจำนวนของออกซิเจนที่ไม่สมบูรณ์อยู่ด้วย ความเข้มข้นของจำนวนฮีโมโกลบินที่มีออกซิเจนในเส้นเลือดดำที่ไหลกลับจากกล้ามเนื้อจะตกลงคิดเป็นร้อยละ 50-60 ในขณะที่พัก โดยมีการลดลงอีก 10% ในระหว่างที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักการรับรู้จำนวน PO_2 ของเส้นเลือดดำจะมีค่าประมาณ 25-40 mmHg และ 10-15 mmHg โดยมีปริมาณของไมโอโกลบินในกล้ามเนื้อที่มีการจับออกซิเจนและส่งออกซิเจนด้วย

นักกีฬาประเภทความการฝึกความอดทนจะรู้ดีเกี่ยวกับการใช้ออกซิเจนสูงสุดของร่างกาย ($V\dot{O}_{2\max}$) และการสร้างโดยการสร้างความจุ้นนั้นมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง โดยการรับออกซิเจนสูงสุดนั้น จะมีคุณภาพ โดยการส่งออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่ส่วนที่มีการทำงานใน ไมโทคอนเดรีย โดยในขณะที่กล้ามเนื้อมีการออกกำลังกาย ในการที่ปอดมีพยาธิสภาพจากโรค COPD ระยะแรกที่มีการส่งออกซิเจนจากอากาศเข้าสู่หลอดเลือดโดยหลอดเลือดฝอยจะมีปริมาณที่จำกัดมากกว่าบุคคลทั่วไป และการทดสอบสมรรถภาพของปอดในนักกีฬาวิ่งมาราธอนระดับโลกจะต้องมีการจำแนกให้แตกต่างออกไปจากประชาชนที่มีสุขภาพดีทั่วไป

ข้อจำกัดในระหว่างการออกกำลังกายปัจจัยทางสรีรวิทยาและพยาธิสรีรวิทยาหลายประการที่ทำให้เกิดข้อจำกัดของการเก็บออกซิเจนสูงสุดของกล้ามเนื้อที่ต้องรักษาไว้ในระหว่างที่มีการออกกำลังกาย แบ่งเป็นกลไกการทำงานส่วนกลาง (ปอด, และหลอดเลือด, หัวใจ) และส่วนปลาย ได้แก่ การไหลเวียนเลือดทั่วไปและกล้ามเนื้อ โดยตารางที่ 2-6 จะแสดงข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในระหว่างที่ออกกำลังกาย

ตารางที่ 2-6 ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในระหว่างที่ออกกำลังกาย

ข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการออกกำลังกาย	ข้อจำกัดในการทำงาน
ระบบหายใจ	ระบบการไหลเวียนเลือดส่วนปลาย
(a) การระบายอากาศ (Ventilation)	(a) บริเวณที่เกิดการไหลเวียนเลือด
(b) การแลกเปลี่ยนก๊าซ	(b) การไหลเวียนเลือดของกล้ามเนื้อ
(c) การแพร่กระจายของออกซิเจน	(c) ความหนาแน่นของหลอดเลือดฝอยในกล้ามเนื้อ
ระบบการทำงานของหัวใจ	(d) การแพร่กระจายของ Oxygen
(a) อัตราการไหลของเลือดเข้าออกใน 1 นาที	(e) ความสามารถของฮีโมโกลบินในการจับออกซิเจน
(b) ความดันโลหิตของหลอดเลือดแดง	การเผาผลาญของกล้ามเนื้อ
(c) ความเข้มข้นของฮีโมโกลบินในเลือด	(a) ความหนาแน่นของไมโทคอนเดรีย
(d) ปริมาตรของเลือด	(b) การทำงานของเอนไซม์
	(c) การเก็บพลังงานและการใช้อย่างมีประสิทธิภาพ
	(d) น้ำหนักของกล้ามเนื้อ
	(e) สัดส่วนของเส้นใยกล้ามเนื้อ

สัตว์บางจำพวกที่มีการใช้งานของกล้ามเนื้อมาก เช่น ม้าจะพบว่ามีจำนวนไมโอโกลบิน โดยพบว่ามีความสัมพันธ์ของอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกล้ามเนื้อต่อน้ำหนักตัวในระหว่างการใช้งานอย่างหนัก สามารถทำให้เกิดข้อจำกัดในการที่จะทำให้เกิดการทำงานของระบบภายในได้ โดยส่วนที่เกิเกิดขึ้นนี้จะเกิดขึ้นแบบเดียวกัน ในนักกีฬาที่ฝึกความอดทนระดับโลกที่มีการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อสูงสุด ($\dot{V}O_{2\max}$) โดยแต่ละบุคคลที่มี $\dot{V}O_{2\max}$ สูงจะพบว่ามีอัตราการไหลของเลือดผ่านหัวใจต่อนาทีสูงสุดด้วย (CO) โดยที่เนื้อเยื่อจะมีการเก็บออกซิเจนได้มาก โดยรู้ได้จากสูตร Fick ที่อธิบายถึงการใช้ออกซิเจนของร่างกายทั้งหมดดังนี้

$$\dot{V}O_2 \text{ ของร่างกายทั้งหมด} = \text{Cardiac Out Put} \times (C_a O_2 - C_v O_2)$$

สูตรคำนวณนี้ในส่วนของ $C_a O_2$ จะพบว่ามีค่าความเข้มข้นของออกซิเจนที่ผสมผสานกันของหลอดเลือดดำ โดยจะมีการไหลผ่านในส่วนหลอดเลือดดำที่ผ่านเนื้อเยื่อต่าง ๆ โดยมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่แตกต่างกัน การที่เนื้อเยื่อมีความเข้มข้นของออกซิเจนที่แตกต่างกันนี้ระหว่างหลอดเลือดแดงและการรวมกันของหลอดเลือดดำ บางครั้งจะหมายถึง จำนวนการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อร่างกาย

อัตราการเต้นหัวใจสูงสุด ไม่พบว่าแตกต่างกันในนักกีฬาดน โดยจะพบว่ามีค่า SV สูงมากกว่าคนทั่วไป โดยเกิดขึ้นจากการเพิ่มขนาดของหัวใจ นักกีฬาระดับโลกประเภทการฝึกความอดทนเหล่านี้จะมีการเพิ่มการนำออกซิเจนออกมาจากเลือด และโดยจากการเปลี่ยนแปลงจากการ

ฝึกด้วย โดยความจุของการขนส่งออกซิเจนในเลือดนั้น จะใช้เป็นจำนวน มิลลิลิตร ต่อ เลือด 1 ลิตร และ จำนวนความเข้มข้นของเม็ดเลือด หรือฮีโมโกลบินอาจต่ำกว่าบุคคลทั่วไปเนื่องจากมีเลือดปริมาณมากกว่าคนทั่วไป

ในการทดสอบปริมาณเม็ดเลือดแดงว่ามีจำนวนมากในนักกีฬาระดับโลกและแสดงให้เห็นว่ามีการเพิ่มขึ้นชั่วคราวของ $\dot{V}O_{2\max}$ โดยข้อสังเกตนี้จะเป็นพื้นฐานสำคัญที่จะชี้ว่า $\dot{V}O_{2\max}$ ของผู้มีสุขภาพดีสภาพร่างกายสมบูรณ์ จะสามารถทำให้การส่งออกซิเจนเพื่อให้ออกซิเจนทำงานการเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อโดยการใช้จักรยานวัดงาน โดยวัดจะพบว่ากลุ่มตัวอย่างจะมี $\dot{V}O_{2\max}$ ไม่เพียงพอ ในการเพิ่ม O_2 จากการที่การทำงานในระบบไหลเวียนส่วนกลางมีข้อจำกัดของ $\dot{V}O_{2\max}$ และจากข้อมูลพื้นฐานในคนที่มียึดจำนวนความจุของกล้ามเนื้อ Salin (1985) จะพบว่า มีการคำนวณขนาดของความจุของกล้ามเนื้อ โดยมีการกระตุ้นอย่างเต็มที่ที่จะทำให้ความจุของการส่งออกซิเจนมีมากขึ้นในระบบไหลเวียนด้วย $\dot{V}O_{2\max}$ โดยการเพิ่มขึ้นของอายุ ต่างมีความสัมพันธ์กันในการเปลี่ยนแปลงของ SV และ $\dot{V}O_{2\max}$ ทั้งในการฝึกระยะยาวและการฝึกไม่เพียงพอ

สภาพการใช้ออกซิเจน (Oxygen Consumption หรือ VO_2) จะใช้เป็นเกณฑ์วัดที่ดีที่สุดในการวัด Aerobic Working Capacity เพราะจากการทดลองพบว่าสมรรถภาพการใช้ออกซิเจนนี้จะมี ความสัมพันธ์สูงกับขนาดร่างกาย จำนวนกล้ามเนื้อ ความสามารถของระบบไหลเวียนเลือดและเมตาโบลิซึมของเซลล์ เด็กหญิงมีความสามารถในการใช้ออกซิเจนต่อน้ำหนักร่างกายสูงสุดเมื่ออายุ 8-9 ปี และลดลงช้า ๆ จนถึงอายุ 15-16 ปี และรักษาระดับนี้จนถึงวัยผู้ใหญ่ การฝึกซ้อมออกกำลังกายสม่ำเสมอ นั้น จากการศึกษา พบว่า มีผลทำให้มีปริมาตรสูดฉีดเลือดของหัวใจมากกว่าผู้ที่ไม่ได้ รับการฝึกถึง 200-400 มล. อัตราเต้นของชีพจรขณะพักจะช้าลง โดยคนปกติจะมีชีพจรประมาณ 70-80 ครั้ง/ นาที แต่ผู้ฝึกซ้อมจะมีเพียง 30-60 ครั้ง/ นาที

นอกจากนี้การฝึกออกกำลังก็มีผลช่วยให้เพิ่มจำนวนเม็ดเลือดแดง และเลือดขนส่งออกซิเจนให้เซลล์ได้มากขึ้น ซึ่งผลเดียวกันนี้คาดว่าจะมีต่อเด็กวัยเรียนที่เล่นกีฬาและ ฝึกสม่ำเสมอ เช่นกัน ยิ่งกว่านั้นระบบกล้ามเนื้อจะแข็งแรงมากขึ้น เนื่องจากการปรับปรุง โปรตีนเพิ่มและสะสมสารอาหารได้มากขึ้นกว่าเดิม การทำงานประสานกับกล้ามเนื้ออื่นได้ดี ไมโอไฟบริล และ แคลเซียมออกไซด์จะเพิ่มขึ้น ไมโทคอนเดรียในกล้ามเนื้อจะเพิ่มปริมาณและคุณภาพในการผลิต Adenosine Triphosphate (ATP) จึงทำให้กล้ามเนื้อเก็บ ATP และ Creatine Phosphate (CP) ไว้ได้มากขึ้น กล่าวโดยสรุปคือแหล่งพลังงานที่ใช้สำหรับการยืดหดกล้ามเนื้อ คือ ATP โดยมีการสร้างพลังงานในระหว่างการออกกำลังกาย ส่วนระบบการเผาผลาญแบบแอโรบิก จะนำพลังงานจากไกลโคเจนหรือกลูโคส ส่วนการเผาผลาญแบบแอโรบิกจะนำมาจากไกลโคเจนหรือกรดไขมัน โดยมีการสังเคราะห์จากสารอาหารคาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน กระบวนการสร้างพลังงานจะเกิดขึ้น

ในไมโทคอนเดรีย ในระบบการสังเคราะห์แบบแอโรบิกของ ATP บทบาทแรกของออกซิเจน คือ การทำหน้าที่เป็นตัวรับอิเล็กตรอนตัวสุดท้าย ในกระบวนการเผาผลาญ และเป็นตัวเชื่อมระหว่างไฮโดรเจนในรูปของน้ำ

โดยปัจจัยที่ส่งผลการใช้สารตั้งต้นเพื่อการสร้างพลังงานของกล้ามเนื้อ ได้แก่ คุณค่าของสารอาหาร ความหนัก ช่วงเวลาในการออกกำลังกาย ระดับของการฝึก ฮอร์โมน และสิ่งแวดล้อม ในระหว่างการออกกำลังกาย CO₂ และอัตราการหายใจจะเพิ่มขึ้นโดยสัมพันธ์กับความเข้มข้นของการออกกำลังกาย การเพิ่มอัตราการไหลเวียนของเลือด ที่จะส่งผลโดยตรงกับกล้ามเนื้อที่มีการเคลื่อนไหว โดยระหว่างที่มีการออกกำลังกายอย่างหนักมีการใช้ออกซิเจนเพื่อให้เกิดการทำงานของกล้ามเนื้ออย่างสมบูรณ์ ข้อจำกัดเบื้องต้นของการใช้ออกซิเจนสูงสุดในคนที่มีสุขภาพแข็งแรงสมบูรณ์ จะขึ้นอยู่กับ ความสามารถสูงสุดของการใช้ออกซิเจนของกล้ามเนื้อและ การเผาผลาญของร่างกายที่เพิ่มมากขึ้นจากการได้รับสารอาหารบางอย่างเช่น จิงหรืออาหารอื่นๆที่สัมพันธ์กับความสามารถของระบบหัวใจและหลอดเลือดในการขนส่งออกซิเจน เพื่อการทำงานของกล้ามเนื้อที่มีสมรรถภาพอย่างสูงสุดต่อไป