

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา
ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

รายงานการวิจัย

เรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของรยางค์ขาในการวิ่งเท้าเปล่าและ
การวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง

โดย

อรรวิทย์ อิงคเตชะ

รณรงค์ พลະศุณย์

๙๖๓๗๖๕๔
- 8 ม.ค. 2558

346975
๑๗๒๗๗๘

เริ่มบริการ
22 ก.ค. 2558

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยบูรพา

ปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๖

ชื่อโครงการวิจัย ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของรยางค์ขาในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวม
รองเท้าในเพศชายและเพศหญิง

ชื่อผู้วิจัย นางสาวอรรวิทย์ อิงคเตชะ

ปีที่ทำการวิจัย 2556

บทคัดย่อ

การวิ่งเป็นการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่สุดของมนุษย์อย่างหนึ่งในกิจวัตรประจำวัน ซึ่งพัฒนามาจากการเดิน เพื่อใช้เคลื่อนที่ นิยมใช้เป็นการออกกำลังกายกันอย่างแพร่หลาย มีประโยชน์หลายอย่าง ในขณะที่อุตสาหกรรมรองเท้าเริ่มพัฒนาอย่างมากเพื่อรองรับความต้องการหลากหลายรูปแบบของการใช้งาน แต่การพัฒนาโครงสร้างที่ดีของเท้านั้นเกิดขึ้นได้ในสภาวะเท้าเปลือยเปล่า ยังเป็นข้อโต้แย้งกันอยู่ว่ารองเท้าจะจำกัดการเคลื่อนไหวของเท้าซึ่งจะส่งผลถึงข้อต่อต่างๆในรยางค์ขา ทำให้รูปแบบการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับเดิน-วิ่งเท้าเปล่า การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตัวแปรด้านคิเนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวในการวิ่งเท้าเปล่ากับการวิ่งใส่รองเท้าระหว่างเพศชายและเพศหญิง กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน (ชาย 15 คนและหญิง 15 คน) เข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้ ให้วิ่งสวมรองเท้ากีฬาและวิ่งเท้าเปล่าเพื่อเก็บข้อมูลคิเนมาติกส์ของรยางค์ขาในขณะวิ่งที่ความเร็ว 3.5 เมตร/วินาที ($\pm 5\%$) แล้วเข้าโปรแกรมฝึกการวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ จึงเก็บข้อมูลทางคิเนมาติกส์ของรยางค์ขาในขณะวิ่งสวมรองเท้าและวิ่งเท้าเปล่า ผลการวิจัยพบว่าของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ในรยางค์ขา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ทั้งในช่วงเท้าสัมผัสพื้นครั้งแรก และในวงรอบของการวิ่ง แต่พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากการวางส้นเท้าสัมผัสพื้นเป็นวางเต็มเท้ามากขึ้น ส่วนค่าเฉลี่ยระยะก้าวหลังการฝึกลดลงกว่าก่อนการฝึก และเพศหญิงลดลงต่ำกว่าเพศชายที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .02 สรุปได้ว่าการวิ่งเท้าเปล่าภายหลังจากผ่านการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์แล้ว พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงจากวางส้นเท้าสัมผัสพื้นเป็นวางเต็มเท้า และระยะก้าวลดลง

Project: The Differences of Kinematic Pattern of Lower Extremities during Barefoot and Shod Running between Male and Female
Researcher: MISS ONWAREE INGKATECHA
Year: 2013

Abstract

Running is one of the most basic movements in activity daily living which is modified from walking for moving body from one to another place. It is widely popular because there are several benefits. While the footwear industries have begun to develop for supporting the functional needs but the construction of human foot is suitable in barefoot. There are several debates that footwear would limit the foot's motion. This limitation would effect to other joints in lower extremities. The objective of the study was to compare the differences of kinematic variables of lower extremities in barefoot and shod running between male and female. 15 males and 15 females, participated in the study, were asked to run barefoot and run with athletic footwear for kinematic data collection at $3.5 \pm 5\%$ m/s. Subjects had been trained barefoot running for 4 weeks. The data were collected after training. The results showed that ROMs of lower extremities were not significantly different in both initial contact and the whole running cycle but the ROM of ankle tended to change from dorsiflexion to plantarflexion at initial contact. The step length decreased after training and female's step length is significantly lower than male ($p \leq .5$). In conclusion, ROM of ankle tended to change from dorsiflexion to plantarflexion in barefoot running after 4-week training.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของร่างกายในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีจากความช่วยเหลือจากฝ่ายต่างๆ ผู้วิจัยขอขอบคุณ สถาบันการพลศึกษาวิทยาเขตชลบุรี ที่สนับสนุนอุปกรณ์เครื่องมือในการเก็บข้อมูลวิจัย กลุ่มตัวอย่างงานวิจัยทุกท่าน ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลวิจัย และขอขอบคุณมหาวิทยาลัยบูรพา ที่ได้มอบทุนอุดหนุนการวิจัยจาก ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. ๒๕๕๖

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณรองศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ ที่ได้ช่วยให้การชี้แนะ และให้ความคิดเห็นต่างๆ รวมทั้งความรู้ที่เป็นประโยชน์แก่งานวิจัยตลอดมา

อรวรีย์ อิงคเตชะ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
Abstract	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญภาพ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาการวิจัย	1
2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
3. สมมุติฐานของการวิจัย	2
4. ขอบเขตของการวิจัย	2
5. นิยามศัพท์เฉพาะ	3
6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
1. กายวิภาคศาสตร์ของรยางค์ขา	4
1.1 ข้อสะโพก	4
1.1.1 โครงสร้างกระดูก	4
1.1.2 เอ็นยึดข้อสะโพก	5
1.2 ข้อเข่า	7
1.2.1 โครงสร้างกระดูก	7
1.2.2 ข้อต่อภายในข้อเข่า	9
1.2.3 เอ็นยึดข้อเข่า	9
1.2.4 หมอนรองข้อเข่า	11
1.3 ข้อเท้า	11
1.3.1 โครงสร้างของข้อเท้า	11
1.3.2 เอ็นยึดข้อเท้า	13

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
1.4 เถ้า	15
1.4.1 โครงสร้างของเถ้า ✓	15
1.4.2 ข้อต่อ และเอ็นยึดข้อต่อต่างๆในฝาเถ้า	17
1.4.3 โค้งของฝาเถ้า	20
1.4.4 ประเภทของเถ้า	21
2. ชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง	24
2.1 วงรอบของการวิ่ง	25
2.1.1 ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น	26
2.1.2 ช่วงที่ขาเหวี่ยงไปข้างหน้า	26
2.2 รูปแบบของการวางเท้า ^A	27
2.3 ประสิทธิภาพของการวิ่ง	28
2.3.1 ระยะการวิ่งต่อครั้ง	28
2.3.2 ความถี่ของวงรอบการวิ่ง	29
2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการวิ่งต่อครั้งกับความถี่ของ วงรอบการวิ่ง	29
3. รองเท้าสำหรับวิ่ง	30
3.1 โครงสร้างของรองเท้า ✓	30
3.1.1 ส่วนด้านบนของรองเท้า	31
3.1.2 ส่วนด้านล่างของรองเท้า	32
3.2 แบบจำลองรองเท้า ✓	36
3.2.1 แบบจำลองรองเท้าแบบตรง และแบบโค้ง	37
3.2.2 แบบจำลองรองเท้าแบบผสม	37
3.3 องค์ประกอบของวัสดุในรองเท้า ✓	37
3.3.1 วัสดุสำหรับส่วนบนของรองเท้า	38
3.3.2 วัสดุสำหรับพื้นรองเท้า	38
3.3.3 อุปกรณ์เพิ่มเติมอื่นๆ	39

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.4 ประเภทของรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่ง	41
3.4.1 รองเท้าสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหว	41
3.4.2 รองเท้าสำหรับรับแรงกระแทก	41
3.4.3 รองเท้าสำหรับเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรง	41
3.5 ข้อดีและข้อด้อยของการใส่รองเท้ากีฬา	42
3.5.1 ข้อดี	42
3.5.2 ข้อด้อย	42
4. แนวคิดการวิ่งเท้าเปล่า	44
4.1 ลักษณะของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า	45
4.1.1 ความถูกต้องตามหลักกายวิภาคศาสตร์	45
4.1.2 ความอิสระต่อการสัมผัสพื้น	45
4.1.3 Zero drop	45
4.1.4 น้ำหนักเบา	45
4.1.5 ช่องด้านหน้าของเท้ามีขนาดใหญ่	46
4.1.6 ความอ่อนตัวสูง	46
4.1.7 ลักษณะคล้ายรองเท้าแตะ	46
4.2 ระดับความแตกต่างของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า	46
4.3 ประโยชน์ และอันตรายของการวิ่งเท้าเปล่า	48
4.3.1 ประโยชน์ของการวิ่งเท้าเปล่า	48
4.3.2 อันตรายของการวิ่งเท้าเปล่า	49
5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิ่งและรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่ง	50
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	53
1. กลุ่มตัวอย่าง	53
2. เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล	54
2.1 การพัฒนาเครื่องมือวิจัย	54
2.2 คุณภาพของเครื่องมือวิจัย	54

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3. วิธีการวิจัย	55
3.1 แบบแผนการวิจัย	55
3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย	55
3.2.1 ขั้นตอนก่อนการวิจัย	55
3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมผู้เข้าร่วมการวิจัย	56
3.2.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล	57
4. การวิเคราะห์ข้อมูล	58
บทที่ 4 ผลการวิจัย	59
บทที่ 5 อภิปรายผล สรุปผล และข้อเสนอแนะ	69
1. สรุปผล	69
2. อภิปรายผล	71
3. ข้อเสนอแนะ	72
บรรณานุกรม	73
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก	91
ภาคผนวก ข	93

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 2-1 Acetabulum	5
รูปที่ 2-2 หัวกระดูกต้นขา	5
รูปที่ 2-3 เอ็นยึดข้อสะโพก : a) ด้านหน้า และ b) ด้านหลัง	6
รูปที่ 2-4 กระดูกต้นขา (Femur)	7
รูปที่ 2-5 ผิวหน้าด้านบนของกระดูกหน้าแข้ง	8
รูปที่ 2-6 กระดูกสะบ้า (Patella)	8
รูปที่ 2-7 ข้อต่อต่างๆภายในข้อเข่า	9
รูปที่ 2-8 เอ็นยึดข้อเข่า	10
รูปที่ 2-9 หมอนรองข้อเข่า หรือ Meniscus	11
รูปที่ 2-10 กระดูกทibia และกระดูกfibula	12
รูปที่ 2-11 กระดูกทาลัส (A) ด้านข้าง และ (B) ด้านหน้า	13
รูปที่ 2-12 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านนอก (Lateral ankle ligaments)	14
รูปที่ 2-13 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านใน (Medial ankle ligaments)	15
รูปที่ 2-14 โครงสร้างของเท้า แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนหลัง	15
รูปที่ 2-15 กระดูกส้นเท้า (Calcaneus)	16
รูปที่ 2-16 โครงสร้างส่วนกลางของเท้า (Midfoot)	16
รูปที่ 2-17 โครงสร้างส่วนปลายเท้า (Forefoot)	17
รูปที่ 2-18 ข้อต่อ Subtalar	18
รูปที่ 2-19 ข้อต่อ Transverse Tarsal	18
รูปที่ 2-20 ข้อต่อ Tarsometatarsal	19
รูปที่ 2-21 ข้อต่อ Metatarsophalangeal	19
รูปที่ 2-22 โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านใน (Medial longitudinal arch)	20
รูปที่ 2-23 โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านนอก (Lateral longitudinal ligament)	21
รูปที่ 2-24 โค้งของเท้าตามแนวขวาง (Transverse arch)	21
รูปที่ 2-25 เท้าที่มีโค้งด้านในต่ำกว่าปกติ หรือ เท้าแบน	23
รูปที่ 2-26 เท้าที่มีโค้งด้านนอกสูงกว่าปกติ	23

สารบัญภาพ (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 2-27 เท้าแบ่งตามรูปร่างของปลายเท้า	24
รูปที่ 2-28 แบบจำลองช่วงเวลาของการวิ่ง	25
รูปที่ 2-29 แสดงวงรอบของการวิ่ง (Running cycle)	25
รูปที่ 2-30 ช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น	26
รูปที่ 2-31 ช่วงเวลาที่เหวี่ยงเท้าไปข้างหน้า	27
รูปที่ 2-32 ลักษณะการวางเท้าแบบต่างๆ	27
รูปที่ 2-33 ระยะการวิ่งต่อครั้ง (Stride length)	29
รูปที่ 2-34 ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการวิ่ง	30
รูปที่ 2-35 โครงสร้างรองเท้ากีฬา	31
รูปที่ 2-36 พื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole) : รองเท้าด้านบนสุดผลิตจาก Thermoplastic urethane (TPU; สีน้ำเงิน) อยู่ก่อนไปทางส่วนของเท้าด้านหลัง รองเท้ารูปกลางผลิตจาก dual density EVA (สีเทา) ครอบคลุมจากส่วนของเท้าด้านหลังผ่านมายังโค้งด้านในของฝ่าเท้า รองเท้าด้านล่างผลิตจาก dual density EVA (สีเทา) ครอบคลุมจากส่วนของเท้าด้านหลังผ่านมายังโค้งด้านในของฝ่าเท้าผสมกับ TPU (เส้นสีดำและแดง) ที่โค้งด้านในของฝ่าเท้า	34
รูปที่ 2-37 รูปแบบของพื้นรองเท้า	35
รูปที่ 2-38 แบบจำลองรองเท้ากีฬา	36
รูปที่ 2-39 ส่วนต่างๆ ภายในรองเท้ากีฬา	37
รูปที่ 2-40 a) กราฟแสดงค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นต่อระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่ง และ b) ชุดของแรงกระทำต่อสันเท้าและรองเข้าตามลำดับเมื่อเท้าสัมผัสพื้น	39
รูปที่ 2-41 การเปรียบเทียบรูปลักษณะภายนอกของรองเท้าสำหรับวิ่งในปัจจุบันกับรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า	46
รูปที่ 2-42 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 1	47
รูปที่ 2-43 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 2	47
รูปที่ 2-44 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 3	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
รูปที่ 3-1	ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective markers) ตามตำแหน่งต่างๆ ใน ระยะกึ่งขาตามแบบจำลองของ Halen Hayes	56
รูปที่ 4-1	เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของ เพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	62
รูปที่ 4-2	เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของ เพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	62
รูปที่ 4-3	เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของ เพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	63
รูปที่ 4-4	เปรียบเทียบระยะก้าวระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของเพศชายและเพศหญิง ก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์	63
รูปที่ 4-5	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกขวาในรอบของการวิ่ง	64
รูปที่ 4-6	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกซ้ายในรอบของการวิ่ง	65
รูปที่ 4-7	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าขวาในรอบของการวิ่ง	66
รูปที่ 4-8	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าซ้ายในรอบของการวิ่ง	66
รูปที่ 4-9	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขวาในรอบของการวิ่ง	67
รูปที่ 4-10	พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าซ้ายในรอบของการวิ่ง	68

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3-1 แบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง การเปรียบเทียบรูปทางคิเนมาติกส์ของการเดินเท้าเปล่า และการเดินสวมรองเท้า	55
ตารางที่ 4-1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง	59
ตารางที่ 4-2 พิสัยของการเคลื่อนไหวของร่างกายขณะที่ทำเริ่มสัมผัสพื้น และระยะก้าว	60

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหาวิจัย

การวิ่งเป็นการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่สุดของมนุษย์อย่างหนึ่งในกิจวัตรประจำวัน ซึ่งพัฒนามาจากการเดิน เพื่อใช้เคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งได้อย่างรวดเร็ว ปัจจุบันการวิ่งเพื่อสุขภาพมีคนนิยมใช้เป็นการออกกำลังกายกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากไม่มีความยุ่งยากเรื่องสถานที่ และความพร้อมของหมู่คณะ สามารถวิ่งเพื่อสุขภาพเพียงคนเดียวได้ การวิ่งเพื่อสุขภาพเป็นการวิ่งเหยาะๆ ด้วยความเร็วระหว่างการเดินกับการวิ่งเร็ว เป็นการออกกำลังกายแบบอากาศนิยม (แอโรบิก) ชนิดหนึ่ง การวิ่งเพื่อสุขภาพมีประโยชน์หลายอย่าง เช่น ช่วยให้ระบบไหลเวียนเลือด ปอด หัวใจทำงานดีขึ้น ลดระดับไขมันในเลือด ป้องกันโรคหัวใจ ความดันโลหิตสูง ลดภาวะกระดูกพรุน ช่วยปรับภูมิคุ้มกันของร่างกายให้ทำงานดีขึ้น และช่วยควบคุมน้ำหนักของร่างกาย เป็นต้น

รองเท้าเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อกลศาสตร์ และสมรรถภาพการเคลื่อนไหวโดยรวมของเท้า อุตสาหกรรมรองเท้ามีการขยายตัวมาก และมีการวิจัยเพิ่มปรับปรุงเทคโนโลยีเพื่อรองรับความต้องการหลากหลายรูปแบบของการใช้งาน ตั้งแต่การใช้งานในชีวิตประจำวัน เช่น การเดิน ไปจนถึงกระทั่งถึงการใช้งานเฉพาะเจาะจง เช่น การเล่นกีฬาแต่ละประเภท รองเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคเรื้อรัง (เบาหวาน, ข้อเข่าเสื่อม เป็นต้น) คนเราใช้รองเท้าเพื่อป้องกันเท้าจากการบาดเจ็บต่าง ๆ อันเนื่องมาจากความขรุขระ ความไม่สม่ำเสมอของพื้น และจากแรงกระแทกที่มากเกินไปอันเนื่องมาจากพื้นแข็ง ยิ่งไปกว่านั้นรองเท้ายังช่วยป้องกันเท้าจากสภาพแวดล้อมที่ร้อน เย็น หรือชื้นแฉะ แต่การพัฒนาโครงสร้างที่ดีของเท้านั้นเกิดขึ้นได้ในสภาวะเท้าเปลือยเปล่า ดังนั้นความแข็งแรง และความคับของรองเท้าจึงอาจนำไปสู่ความผิดปกติทางด้านโครงสร้างในช่วงที่เจริญเติบโตได้ Sachithanandamm & Joseph (1995) ได้ทำการสำรวจประชากรวัยเจริญพันธุ์ 1846 คน พบว่า อุบัติการณ์ของเท้าแบน (Flatfeet) เพิ่มขึ้น เมื่อคนเราเริ่มใส่รองเท้าก่อนอายุ 6 ปี และความชุกของเท้าแบนสูงถึง 8.6% ในกลุ่มเด็กที่ใส่รองเท้าเทียบกับ 2.8% ในกลุ่มเด็กเท้าเปล่า (Rao & Joseph, 1992) รองเท้าที่ไม่เหมาะสมเป็นสาเหตุโดยตรงของการเกิดการบาดเจ็บต่อเท้าและข้อเท้า เช่น หนีงพอง เล็บขบ เอ็นฝ่าเท้าอักเสบ เอ็นร้อยหวายอักเสบ และเป็นสาเหตุประกอบของการบาดเจ็บในส่วนที่เหนือขึ้นไป เช่น สันหน้าแข้ง เข่า ต้นขา ข้อสะโพก ไปจนถึงกล้ามเนื้อและกระดูกสันหลัง

ในขณะที่อุตสาหกรรมรองเท้าเริ่มพัฒนาอย่างมาก อีกด้านหนึ่งก็มีกลุ่มคนที่เห็นคุณค่าของการใช้ชีวิต รวมไปถึงธรรมชาติ การย้อนกลับไปใช้ชีวิตในวิถีดั้งเดิมได้เริ่มกลับมามีอิทธิพลเพิ่มมากขึ้น ทั้งในรูปแบบการใช้ชีวิต การออกกำลังกาย และวิถีการแพทย์ เมื่อเร็ว ๆ นี้บริษัทรองเท้าชั้นนำระดับโลกได้มีการเปิดตัวรองเท้าวิ่งรุ่นเท้าเปล่า เพื่อเลียนแบบการเคลื่อนไหวด้วยเท้าเปล่า ซึ่งตอบสนองความต้องการของคนที่ย้อนกลับมาสู่ค่านิยมดั้งเดิมมากยิ่งขึ้น ศาสตราจารย์แพทย์แผนจีนกล่าวว่า ได้ฝ่าเท้ามนุษย์ถือเป็นจุดศูนย์รวมของเส้นประสาทจากทุกส่วนของร่างกาย การสัมผัสพื้นดินด้วยเท้าเปล่าเปลือยเป็นการรับพลังปฐพีเข้าสู่ร่างกายทำให้เกิดความสมดุล ช่วยเสริมสร้างพลังให้แก่ร่างกาย ดังนั้นจึงมีความเชื่อว่าการเดินเท้าเปล่าจะช่วยกระตุ้น

จุดต่างๆที่สัมพันธ์กับอวัยวะภายในร่างกาย และช่วยให้ร่างกายแข็งแรง กระปรี้กระเปร่าขึ้น อัตราการบาดเจ็บที่มีต่อระยะค่านับวันยิ่งมากขึ้น ส่งผลมาจากวิธีการเดิน การลงน้ำหนัก และลักษณะรองเท้าที่ใส่ในประเทศที่พัฒนาแล้ว (Radzimski, Mundermann & Sole, 2011) แต่ในประเทศกำลังพัฒนาหรือประเทศที่มีวัฒนธรรมเดินเท้าเปล่ากลับมีอัตราการบาดเจ็บดังกล่าวน้อยกว่าอย่างมีนัยสำคัญ จึงยังเป็นข้อโต้แย้งกันอยู่ว่าการใส่รองเท้าโดยไม่สนใจปัจจัยอื่นๆ เช่น การลงน้ำหนัก ลักษณะของรองเท้าที่เหมาะสมกับกิจกรรมหรือบุคคล นั้นอาจส่งผลต่อสุขภาพ และการใช้ชีวิตประจำวัน การวิ่งเป็นผลลัพธ์จากการทำงานร่วมกันระหว่างระบบประสาท และระบบโครงสร้างร่างกาย โดยระบบประสาทส่วนกลางต้องสร้างสัญญาณประสาทยนต์ที่เหมาะสมจากการรวบรวมข้อมูลการรับรู้ด้านสายตา ข้อต่อ และการทรงตัว การวิ่งมีลักษณะการเคลื่อนไหวแบบซ้ำๆ เป็นลำดับต่อเนื่องกันไปเพื่อเคลื่อนร่างกายให้ไปยังทิศทางที่ต้องการคล้ายกับการวิ่ง แต่มีความเร็วของการเคลื่อนที่มากกว่า ในขณะเดียวกัน ร่างกายก็ยังคงรักษาความมั่นคงในขณะก้าวเท้าวิ่งได้ด้วย เนื่องจากการเคลื่อนที่ไว้นั้นเกี่ยวข้องกับระยะก้าว ลำตัว รวมถึงปฏิสัมพันธ์ต่างๆกับสภาพแวดล้อมที่เคลื่อนที่ไป ขณะที่ร่างกายเคลื่อนที่ไปข้างหน้า ขาข้างหนึ่งจะทำหน้าที่รองรับน้ำหนักตัว ขณะที่ขาอีกข้างหนึ่งเคลื่อนที่ไปข้างหน้าเพื่อสร้างฐานรองรับใหม่เข้าไปเรื่อยๆจนกระทั่งร่างกายเคลื่อนไปถึงจุดหมายปลายทาง จากการศึกษาหลายงานพบว่า รองเท้าจะจำกัดการเคลื่อนไหวของเท้าซึ่งจะส่งผลถึงข้อต่อต่างๆในรองเท้า ทำให้รูปแบบการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับเดิน-วิ่งเท้าเปล่า ทั้งในคนปกติ และในผู้ป่วย (De Wit, De Clercq & Aerts, 2000; Radzimski, Mundermann & Sole, 2011)

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

จากความเป็นมา และความสำคัญของปัญหาวิจัยดังกล่าว ผู้วิจัยจึงกำหนดวัตถุประสงค์ของการวิจัยดังนี้

เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตัวแปรด้านคิเนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวในการวิ่งเท้าเปล่ากับการวิ่งใส่รองเท้าระหว่างเพศชายและเพศหญิง

สมมุติฐานการวิจัย

เพื่อเป็นแนวทางในการวิจัย และพื้นฐานการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยจึงตั้งสมมุติฐานของการวิจัย ดังนี้

1. องศาการเคลื่อนไหว (Range of motion; ROM) ของข้อสะโพก ข้อเข่าและข้อเท้าในการวิ่งเท้าเปล่า มากกว่าการวิ่งใส่รองเท้า
2. ระยะก้าว (step length) ในการวิ่งเท้าเปล่าสั้นกว่าการวิ่งใส่รองเท้า

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยเพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตัวแปรด้านคิเนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งใส่รองเท้าระหว่างเพศชายและเพศหญิง ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตของการวิจัย ดังนี้

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตชาย และหญิง มหาวิทยาลัยบูรพา และสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชลบุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 30 คน เป็นเพศชาย 15 คน และเพศหญิง 15 คน

ตัวแปรในการวิจัย

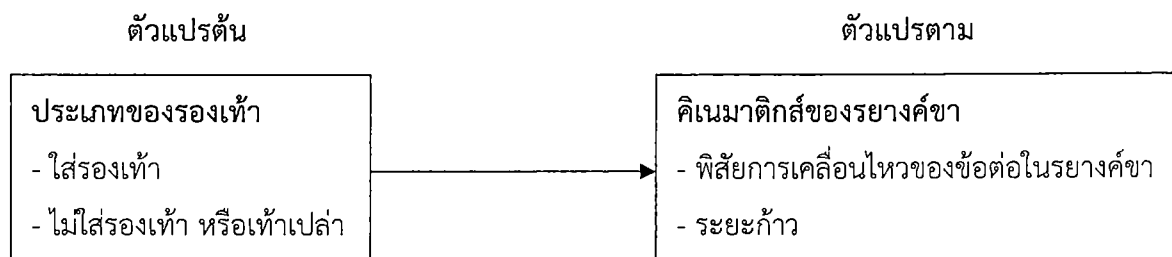
1. ตัวแปรต้น คือ การวิ่งใส่รองเท้า และการวิ่งเท้าเปล่า
2. ตัวแปรตาม คือ มุมของข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า และระยะก้าว (Step length)

นิยามศัพท์เฉพาะ

เพื่อให้คำศัพท์ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้เป็นที่เข้าใจตรงกัน ผู้วิจัยจึงขอกำหนดความหมายของคำศัพท์เฉพาะที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

1. คินเนมาติกส์ (Kinematics) หมายถึง การศึกษาถึงลักษณะการเคลื่อนของร่างกาย โดยไม่มีการพิจารณาแรงกระทำบนวัตถุ เช่น องศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ความเร็ว ระยะก้าว เป็นต้น
2. รยางค์ขา หมายถึง อวัยวะส่วนล่างของร่างกายเริ่มต้นตั้งแต่ข้อสะโพกจนถึงปลายเท้า
3. การวิ่งเท้าเปล่า หมายถึง

กรอบแนวคิดการวิจัย



ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ข้อมูลสำหรับใช้แนะนำ และให้ความรู้ที่ถูกต้องเกี่ยวกับการวิ่ง และรองเท้ากีฬาแก่ประชาชนโดยทั่วไป
2. เป็นข้อมูลพื้นฐานในการดำเนินงานวิจัยต่อเนื่องในกลุ่มประชากรอื่นๆ เช่น กลุ่มผู้สูงอายุ กลุ่มโรคเรื้อรังที่มีปัญหารองเท้า เพื่อรองรับยุทธศาสตร์วิจัยของประเทศในแง่ของสังคมผู้สูงอายุ

บทที่ 2

การทบทวนวรรณกรรม และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้ค้นคว้า ทบทวนวรรณกรรม เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

ตอนที่ 1 กายวิภาคศาสตร์ของร่างกาย

ตอนที่ 2 ชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง

ตอนที่ 3 รองเท้าสำหรับวิ่ง

ตอนที่ 4 แนวคิดการวิ่งเท้าเปล่า

ตอนที่ 5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพยาธิสภาพ และการบาดเจ็บจากการวิ่ง

1. กายวิภาคศาสตร์ของร่างกาย (Anatomy of Lower Extremity)

หน้าที่หลักของโครงสร้างในร่างาคือ การรับน้ำหนักตัว และการเคลื่อนที่ ดังนั้น กระดูกในร่างกายจึงมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ประกอบไปด้วยกระดูกทั้งสิ้น 30 ชิ้น; กระดูกต้นขา (Femur) กระดูกสะบ้า (Patella) กระดูกหน้าแข้ง (Tibia) กระดูกfibula (Fibula) กระดูกทาร์ซาลทั้งสิ้น 7 ชิ้น (Tarsal bones) กระดูกเมตาทาร์ซาล ทั้งสิ้น 5 ชิ้น (Metatarsal bones) กระดูกนิ้วเท้าทั้งสิ้น 14 ชิ้น (Phalanges)

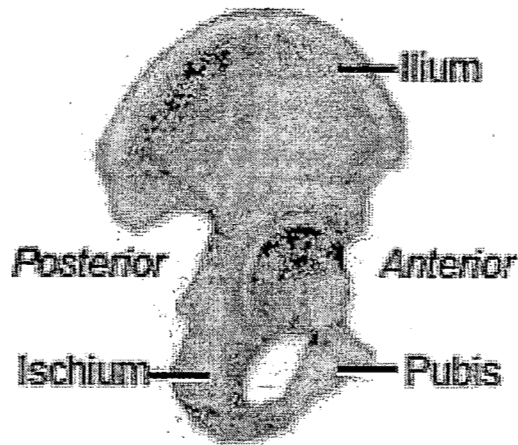
1.1 ข้อสะโพก (Hip joint)

ข้อสะโพกเป็นข้อต่อระหว่างหัวกระดูกต้นขา และส่วนของกระดูกเชิงกรานที่เรียกว่า Acetabulum เป็นข้อต่อที่สามารถเคลื่อนไหวได้มากที่สุดในร่างกาย เนื่องจากโครงสร้างของข้อต่อเป็นประเภทลูกบอลและเบ้า (Ball and socket) ซึ่งสามารถเคลื่อนไหวได้ 3 แกน นอกจากนี้ข้อสะโพกยังเป็นข้อต่อที่มีความมั่นคงและแข็งแรงมากจากลักษณะโครงสร้าง รวมถึงจำนวนเอ็นยึดข้อต่อ และกล้ามเนื้อโดยรอบที่ยึดเกาะเป็นจำนวนมาก (McKinley & O'Loughlin, 2008)

1.1.1 โครงสร้างกระดูก

1.1.1.1 Acetabulum

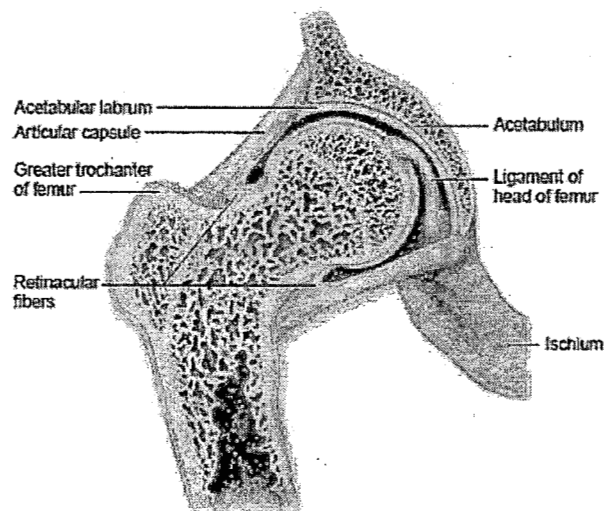
เป็นส่วนของกระดูกเชิงกราน มีลักษณะคล้ายถ้วย ที่ประกอบขึ้นจากกระดูกเชิงกรานจำนวน 3 ชิ้น คือ Ilium อยู่ทางด้านบน มีพื้นที่ประมาณ 2/5 ของเบ้า Ischium อยู่ทางด้านล่าง และด้านข้าง มีพื้นที่ประมาณ 2/5 ของเบ้า และ Pubis อยู่ทางด้านล่าง และด้านใกล้แนวกลาง ขอบด้านบนของ Acetabulum ค่อนข้างหนา ทำหน้าที่เป็นตำแหน่งยึดเกาะของ Acetabular labrum ซึ่งจะทำให้เบ้าแคบลงและลึกขึ้น ทำให้ข้อต่อมีความมั่นคงขึ้น ส่วนด้านล่างของ Acetabulum เปิดเป็นช่องว่าง เรียกว่า Acetabular notch (รูปที่ 2-1)



รูปที่ 2-1 Acetabulum (McKinley & O'Loughlin, 2008)

1.1.1.2 กระดูกต้นขา (Femur)

เป็นกระดูกที่ยาว แข็งแรง และมีน้ำหนักมากที่สุดในร่างกาย หัวกระดูกมีลักษณะคล้ายลูกบอล เชื่อมต่อเข้ากับ Acetabulum โดยมีเอ็นยึดระหว่างกระดูกกับหัวกระดูกต้นขาบริเวณ Fovea (รูปที่ 2-2) ส่วนที่เชื่อมต่อระหว่างหัวกระดูกต้นขา กับก้านกระดูกต้นขาเรียกว่า คอกระดูก โดยปกติจะทำมุมประมาณ 125 องศา



รูปที่ 2-2 หัวกระดูกต้นขา (McKinley & O'Loughlin, 2008)

1.1.2 เอ็นยึดข้อสะโพก (Ligaments of the hip)

นอกจากลักษณะโครงสร้างของข้อสะโพกที่มีความมั่นคงและแข็งแรงแล้ว เนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ เช่น แคปซูล เอ็นยึดข้อต่อ และกล้ามเนื้อที่ยึดอยู่โดยรอบข้อต่อ นั้น มีขนาดใหญ่ และเป็นจำนวนมากด้วย ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้อาการกระดูกต้นขาเลื่อนหลุดออกจาก Acetabulum

1.1.2.1 Ligamentum teres femoris

เป็นเอ็นรูปสามเหลี่ยม ยึดระหว่างหัวกระดูกต้นขาบริเวณ Fovea capitis femoris ไปยัง Acetabular notch เอ็นเส้นนี้จะตึงตัวเมื่อยกต้นขาขึ้นมาทางด้านหน้า และกางขาออกหรือหมุนต้นขาออกด้านนอก ภายในเอ็นมีเส้นเลือดเล็กๆไปเลี้ยงหัวกระดูกต้นขา (รูปที่ 2-2)

1.1.2.2 Iliofemoral ligament

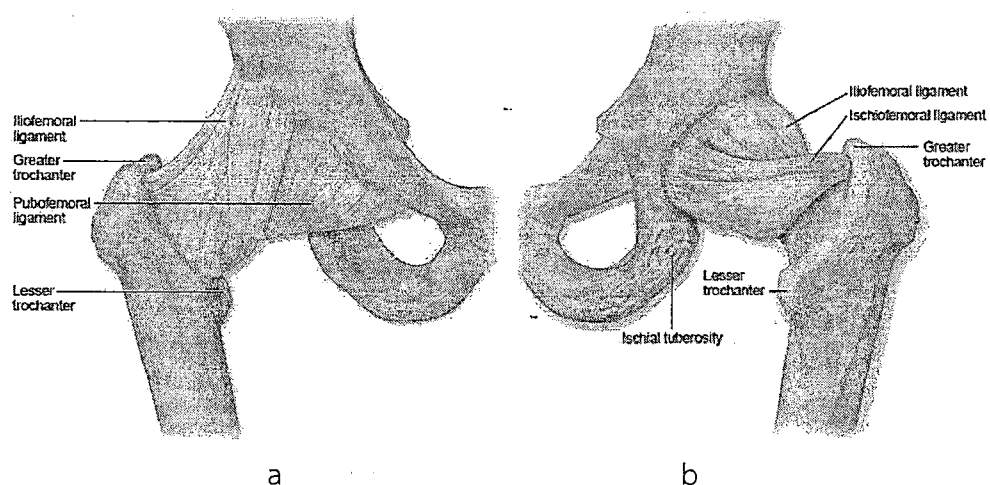
เป็นเอ็นรูปตัว Y ที่ช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับแคปซูลหุ้มข้อสะโพกทางด้านหน้า ยึดเกาะจาก anterior inferior iliac spine (ASIS) เฉียงลงด้านล่างไปยัง intertrochanteric line ทางด้านหน้าของหัวกระดูกต้นขา และแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกอยู่ด้านบนในแนวขวางขนานไปกับคอกระดูก และอีกส่วนหนึ่งอยู่ด้านล่าง จะวางตัวขนานไปกับก้านกระดูกต้นขา ทำหน้าที่ด้านไม่ให้ข้อสะโพกเหยียดไปด้านหลัง และหมุนออกด้านนอกมากเกินไป (รูปที่ 2-3)

1.1.2.3 Ischiofemoral ligament

เป็นเอ็นที่มีลักษณะโค้งอยู่ทางด้านหลังของข้อสะโพก ยึดเกาะจาก Ischium ขึ้นไปยัง intertrochanteric line ทางด้านหลังของหัวกระดูกต้นขา ทำหน้าที่ในการทรงท่าของข้อสะโพกในขณะยืน (รูปที่ 2-3)

1.1.2.4 Pubofemoral ligament

เป็นเอ็นที่มีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมอยู่ทางด้านล่างของข้อสะโพก ยึดเกาะจาก Obturator crest และ Superior ramus ของ pubis ทางด้านล่างไปยังหัวกระดูกต้นขา และยังผสมผสานไปกับแคปซูลหุ้มข้อสะโพกด้วย ทำหน้าที่ด้านไม่ให้ข้อสะโพกเหยียดไปด้านหลัง และหมุนออกด้านนอกมากเกินไป (รูปที่ 2-3)



รูปที่ 2-3 เอ็นยึดข้อสะโพก : a) ด้านหน้า และ b) ด้านหลัง (McKinley & O'Loughlin, 2008)

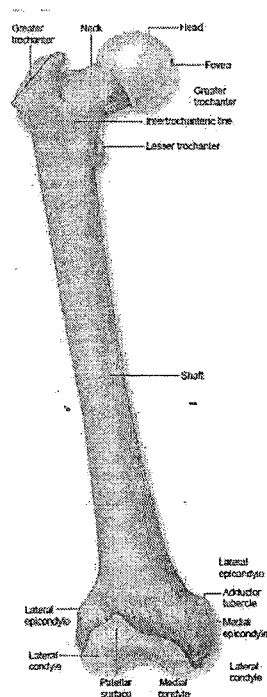
1.2 ข้อเข่า

ข้อเข่าเป็นข้อต่อประเภทบานพับแบบประยุกต์ (Modified hinge joint) เนื่องจากในช่วงสุดท้ายของการเหยียดเข่า ข้อเข่าจะมีการเลื่อนหมุนออกทางด้านนอกได้ โครงสร้างของข้อเข่าประกอบด้วยกระดูกทั้งสิ้น 3 ชิ้น คือ กระดูกต้นขา กระดูกหน้าแข้ง และกระดูกสะบ้า ทำให้ข้อเข่าเป็นข้อต่อที่ประกอบขึ้นจากข้อต่อย่อยทั้งสิ้น 2 ข้อต่อ (McKinley & O'Loughlin, 2008)

1.2.1 โครงสร้างกระดูก

1.2.1.1 กระดูกต้นขา (Femur)

ส่วนที่ประกอบเป็นข้อเข่าเป็นส่วนปลายด้านล่างของกระดูกต้นขาที่มีขนาดใหญ่กว่าหัวกระดูกต้นขา มีลักษณะเป็นปุ่มกระดูก (Condyle) 2 ชิ้นใหญ่ ปุ่มกระดูกทางด้านนอก (Lateral condyle) มีเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวหน้า-หลังและตามแนวขวางใกล้เคียงกัน ส่วนปุ่มกระดูกทางด้านใน (Medial condyle) มีเส้นผ่าศูนย์กลางตามแนวหน้า-หลังมากกว่าตามแนวขวาง ทางด้านหน้ามีร่องตื้นๆ เรียกว่า Intercondyloid fossa สำหรับเชื่อมต่อกับกระดูกสะบ้า (รูปที่ 2-4)

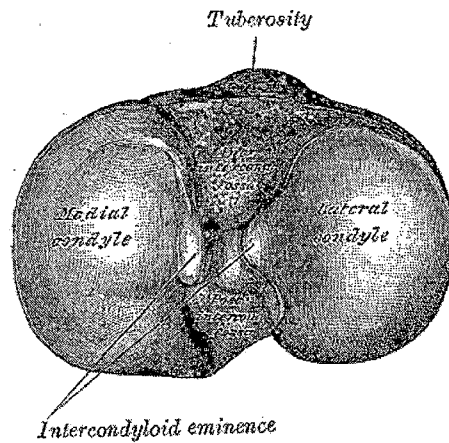


รูปที่ 2-4 กระดูกต้นขา (Femur) (McKinley & O'Loughlin, 2008)

1.2.1.2 กระดูกหน้าแข้ง (Tibia)

ส่วนที่ประกอบเป็นข้อเข่าเป็นส่วนปลายด้านบนของกระดูกหน้าแข้ง มีลักษณะแบนกว้าง แบ่งออกเป็นส่วนด้านใน (Medial facet) และด้านนอก (Lateral facet) ด้วยสันกระดูก เรียกว่า

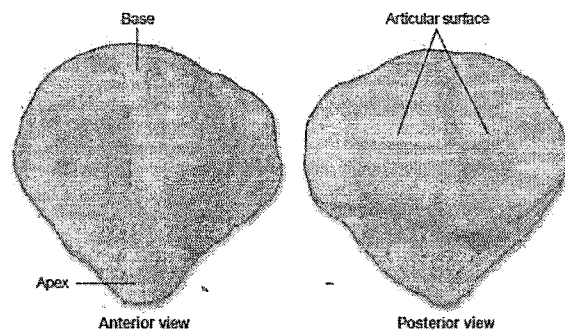
Intercondyloid eminence Medial facet มีลักษณะเป็นรูปไข่ ส่วน Lateral facet มีลักษณะค่อนข้างกลม มากกว่าเพื่อเชื่อมต่อเข้ากับส่วนปลายกระดูกต้นขา (รูปที่ 2-5)



รูปที่ 2-5 ผิวหน้าด้านบนของกระดูกหน้าแข้ง (<http://anatomyhq.org>)

1.2.1.3 กระดูกสะบ้า (Patella)

เป็นกระดูก sesamoid ที่มีขนาดใหญ่ รูปร่างเป็นรูปสามเหลี่ยม วางตัวอยู่ด้านบน ปลายกระดูกต้นขาด้านล่าง ด้านบนของกระดูกสะบ้าค่อนข้างกว้าง ปลายแหลมอยู่ทางด้านล่าง ช่วยป้องกันข้อเข้าจากการกระแทกกระทึกต่างๆ นอกจากนี้ยังช่วยเพิ่มแขนของโมเมนต์ให้กับกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris ทำให้กล้ามเนื้อสามารถหดตัวได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น (รูปที่ 2-6)



รูปที่ 2-6 กระดูกสะบ้า (Patella) (McKinley & O'Loughlin, 2008)

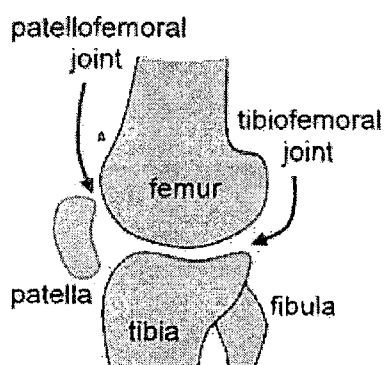
1.2.2 ข้อต่อภายในข้อเข่า

1.2.2.1 ข้อต่อ Tibiofemoral

เป็นข้อต่อที่เชื่อมต่อระหว่างปลายด้านล่างของกระดูกต้นขา กับปลายด้านบนของกระดูกหน้าแข้ง เป็นส่วนที่จัดเป็นข้อต่อประเภทบานพับ เนื่องจากเกิดการเคลื่อนไหวในระนาบ Sagittal (รูปที่ 2-7)

1.2.2.2 ข้อต่อ Patellofemoral

เป็นข้อต่อที่เชื่อมต่อระหว่างปลายด้านล่างของกระดูกต้นขา กับกระดูกสะบ้า (รูปที่ 2-7)



รูปที่ 2-7 ข้อต่อต่างๆภายในข้อเข่า (School of Physical Therapy, National Taiwan University, 2004)

1.2.3 เอ็นยึดข้อเข่า (Ligaments of the knee)

เอ็นยึดข้อต่อที่อยู่โดยรอบข้อเข่ามีหน้าที่ช่วยเพิ่มความมั่นคงและแข็งแรงให้กับข้อเข่า สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มคือ เอ็นที่อยู่ภายในแคปซูล (Intracapsular ligaments) และเอ็นที่อยู่ภายนอกแคปซูล (Extracapsular ligament) (รูปที่ 2-8)

1.2.3.1 เอ็นที่อยู่ภายในแคปซูล (Intracapsular ligaments)

ประกอบไปด้วยเอ็นยึดข้อต่อจำนวน 2 เส้น วางตัวไขว้กันอยู่ตรงบริเวณกลางข้อเข่า ยึดระหว่างกระดูกหน้าแข้งและกระดูกต้นขา

1.2.3.1.1 เอ็นไขว้หน้า (Anterior cruciate ligament; ACL)

เอ็นเส้นนี้ยึดเกาะจากด้านหน้าของ Intercondyloid eminence ของกระดูกหน้าแข้งไปยังด้านหลังของกระดูกต้นขาอ่อนไปทางด้านนอก (Lateral femoral condyle) ทำหน้าที่ป้องกันการเลื่อนของกระดูกหน้าแข้งไปข้างหน้า (รูปที่ 2-8)

1.2.3.1.2 เอ็นไขว้หลัง (posterior cruciate ligament; PCL)

เอ็นเส้นนี้ยึดเกาะจากด้านหลังของ Intercondyloid eminence ของกระดูกหน้าแข้งไปยังด้านหน้าของกระดูกต้นขาตอนไปทางด้านใน (Medial femoral condyle) ทำหน้าที่ป้องกันการเลื่อนของกระดูกหน้าแข้งไปข้างหลัง และช่วยเพิ่มความมั่นคงแข็งแรงในขณะลงน้ำหนัก (รูปที่ 2-8)

1.2.3.2 เอ็นที่อยู่ภายนอกแคปซูล (Extracapsular ligament)

1.2.3.2.1 Patellar ligament

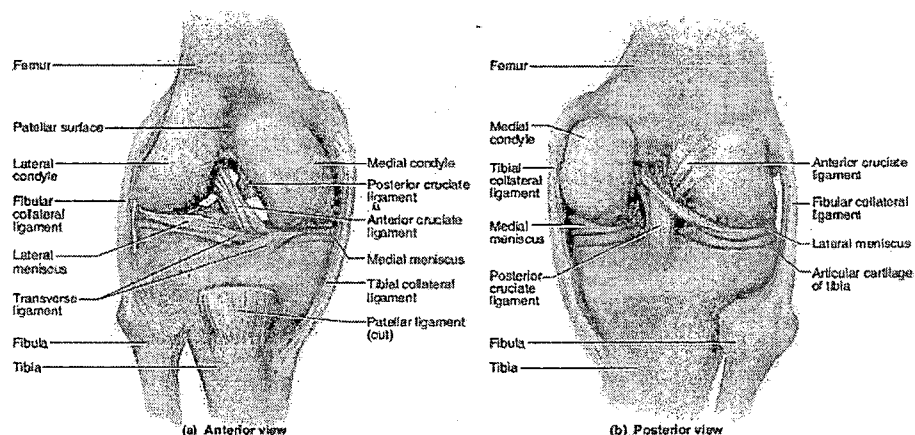
เป็นเอ็นที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบน ขนาดใหญ่ อยู่ทางด้านหน้าของข้อเข่า ยึดจากปลายด้านล่างของกระดูกสะบ้าไปยังปุ่มด้านหน้าของกระดูกหน้าแข้ง (Tuberosity of Tibia) เส้นใยด้านบนของเอ็นนี้ต่อมาจากเอ็นกล้ามเนื้อ Quadriceps femoris หรือเรียกอีกอย่างชื่อหนึ่งว่า Patellar tendon (รูปที่ 2-8)

1.2.3.2.2 Medial collateral ligament

เป็นเอ็นที่อยู่ด้านข้างในของข้อเข่า มีลักษณะเป็นแผ่นแบนกว้าง ยึดเกาะจาก Medial femoral condyle ไปเกาะใต้ต่อ Medial condyle ของกระดูกหน้าแข้ง และมีบางส่วนของเอ็นผสมผสานไปกับ Medial meniscus ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระทำข้อเข่าเข้าด้านใน (รูปที่ 2-8)

1.2.3.2.3 Lateral collateral ligament

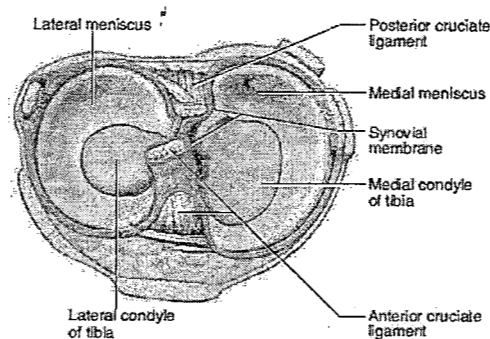
เป็นเอ็นที่อยู่ด้านข้างนอกของข้อเข่า มีลักษณะเป็นแผ่นค่อนข้างกลม ยึดเกาะจาก Lateral femoral condyle ไปเกาะยังหัวกระดูกฟีบูลา ทำหน้าที่ป้องกันแรงกระทำข้อเข่าออกด้านนอก (รูปที่ 2-8)



รูปที่ 2-8 เอ็นยึดข้อเข่า (Saladin, 2008)

1.2.4 หมอนรองข้อเข่า (Meniscus)

Meniscus หรือหมอนรองข้อเข่า วางตัวด้านบนของผิวหน้ากระดูกหน้าแข้งภายในข้อเข่า ทำหน้าที่หลักในการกระจายน้ำหนักตัวที่กดลงบนข้อเข่า และลดแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างเคลื่อนไหว นอกจากนี้ Meniscus ยังช่วยเสริมให้ผิวหน้าของกระดูกหน้าแข้งเว้าลึกขึ้น ทำให้ปลายกระดูกต้นขาสามารถวางตัวได้มั่นคงมากยิ่งขึ้น Meniscus ในข้อเข่าแต่ละข้างมีทั้งสิ้น 2 ชิ้น คือ Medial meniscus ที่มีรูปร่างคล้ายพระจันทร์เสี้ยว และ Lateral meniscus ที่มีรูปร่างค่อนข้างกลม (รูปที่ 2-9)



รูปที่ 2-9 หมอนรองข้อเข่า หรือ Meniscus (Saladin, 2008)

1.3 ข้อเท้า

ข้อเท้าเป็นข้อต่อประเภทบานพับ (Hinge หรือ Ginglymus joint) โดยตำแหน่งทางกายวิภาคศาสตร์ แกนของข้อเท้าอยู่ในแนวขนานกับพื้น แต่เอียงทำมุม 20-25 องศากับระนาบ Frontal การเคลื่อนไหวของข้อเท้าไม่สามารถเคลื่อนได้เพียงข้อต่อเดียว-จำเป็นต้องเคลื่อนไหวร่วมกับข้อต่อ Subtalar และ Midtarsal เพื่อให้เกิดการเคลื่อนไหวร่วมกัน

1.3.1 โครงสร้างของข้อเท้า

ข้อเท้าประกอบด้วยกระดูก 3 ชิ้น คือ กระดูกทibia หรือกระดูกหน้าแข้ง กระดูกFibula และกระดูกทาลัส

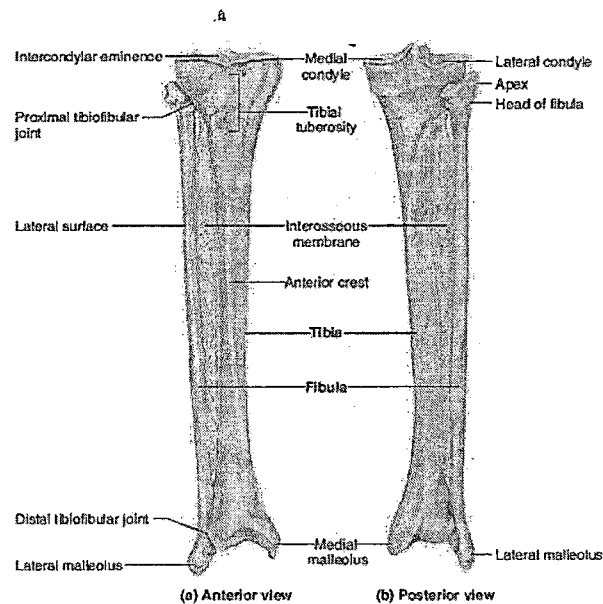
1.3.1.1 กระดูกทibia (Tibia)

กระดูกทibia หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่ากระดูกหน้าแข้ง เป็นกระดูกที่ปลายแต่ละด้านมีขนาดใหญ่ ปลายด้านบนต่อเข้ากับกระดูกต้นขาเป็นข้อเข่า ส่วนปลายด้านล่างของกระดูกทibiaเป็นตาตุ่มใน (Medial Malleolus) เป็นผิวหน้าของข้อต่อด้านบนที่ต่อเข้ากับผิวหน้าของ Trochlear และขอบด้านในของกระดูกทาลัส (รูปที่ 2-10)

1.3.1.2 กระดูกFibula (Fibula)

กระดูกFibulaเป็นกระดูกยาว อยู่ทางด้านข้างนอกของขาท่อนล่าง (Leg) มีรูปร่างคล้ายหอก แบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ หัวกระดูก (Head of Fibula) ก้านกระดูก (Shaft) และตาตุ่มนอก

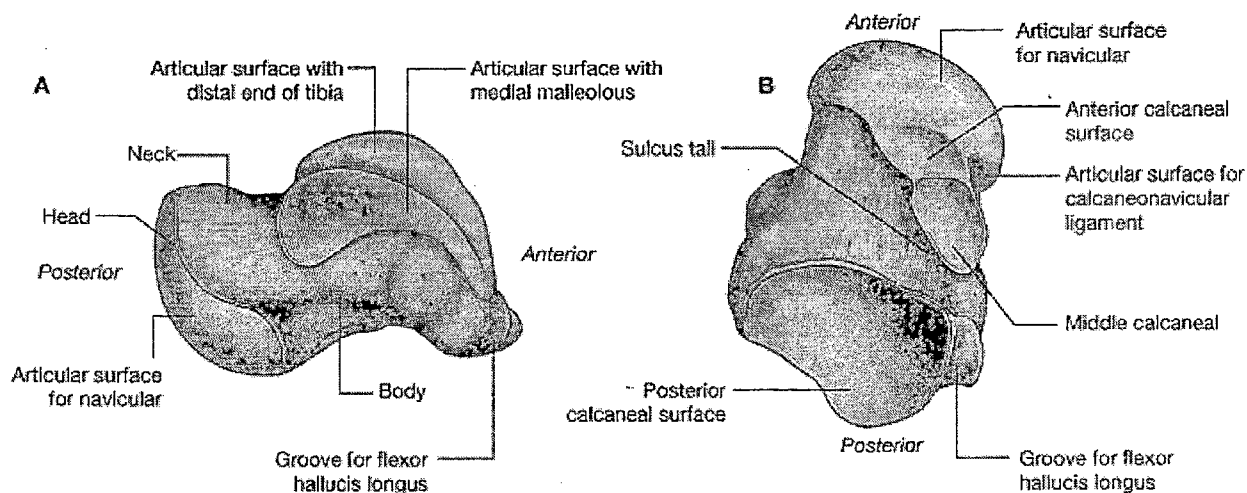
(Lateral Malleolus) ตลอดแนวความยาวของก้านกระดูกทibia และfibulaยึดติดกันด้วยเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน Interosseous Membrane จากขอบด้านในของกระดูกfibulaไปยังขอบด้านนอกของกระดูกทibia ส่วนปลายด้านในของกระดูกทั้ง 2 ขั้ยึดติดกันด้วยเอ็น Tibiofibular Ligament ทั้งด้านหน้าและด้านหลัง เป็นข้อต่อประเภทที่ไม่มีการเคลื่อนไหว (Immovable joint) ประเภท Syndesmosis เรียกว่า ข้อต่อ Distal Tibiofibular (รูปที่ 2-10)



รูปที่ 2-10 กระดูกทibia และกระดูกfibula (Saladin, 2008)

1.3.1.3 กระดูกทาลัส (Talus)

เป็นกระดูกที่มีรูปร่างเฉพาะ เชื่อมต่อทางด้านบน กับกระดูกทibia และfibula และตาตุ่มนอก และตาตุ่มในทางด้านข้าง นอกจากนี้ยังเชื่อมต่อกับกระดูกแคลคาเนียส (Calcaneus) หรือกระดูกสันเท้าทางด้านล่าง และกระดูกนาวิคิวลาร์ (Navicular bone) ทางด้านหน้า กระดูกทาลัสจึงมีพื้นที่ผิวด้านนอกส่วนใหญ่เชื่อมต่อกับกระดูกชิ้นอื่นๆ ทำหน้าที่ในการส่งผ่านน้ำหนักตัวไปยังเท้า สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหัว (Head) ส่วนคอ (Neck) และส่วนตัว (Body) (รูปที่ 2-11)



รูปที่ 2-11 กระดูกทาลัส (A) ด้านข้าง และ (B) ด้านหน้า (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.3.2 เอ็นยึดข้อเท้า (Ligaments of the ankle)

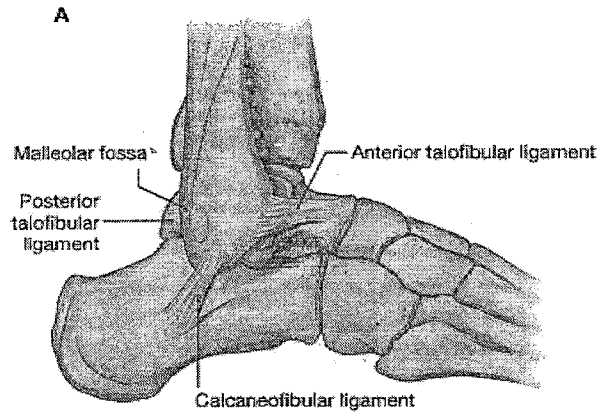
ข้อเท้ามีเอ็นยึดอยู่ทั้งสิ้น 2 ด้าน คือ ด้านนอก และด้านใน (รูปที่ 2-12) ดังนี้

1.3.2.1 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านนอก (Lateral ankle ligaments) ประกอบไปด้วย เอ็นทั้งสิ้นจำนวน 3 เส้น คือ

(1) เอ็น Anterior talofibular เกาะเฉียงจากกระดูกทibia ไปยังกระดูกฟิบูลาทางด้านหน้า โดยเฉียงออกทางด้านข้าง และลงด้านล่าง มีลักษณะเป็นแผ่นแบนรูปสามเหลี่ยม ปลายด้านล่างจะกว้างกว่าด้านบน

(2) เอ็น Posterior talofibular เกาะเฉียงจากกระดูกทibia ไปยังกระดูกฟิบูลาทางด้านหลัง โดยมีลักษณะการเกาะแบบเดียวกันกับเอ็น Anterior talofibular และมีขนาดเล็กกว่าเอ็นทางด้านหน้า

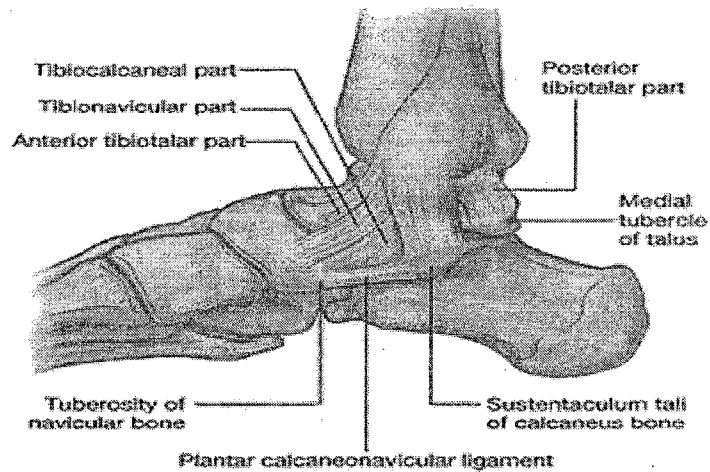
(3) เอ็น Calcaneofibular เกาะจากตาตุ่มนอกของกระดูกฟิบูลาไปยังกระดูกแคลคาเนียส โดยเกาะเฉียงลงด้านล่าง และไปยังด้านหลัง มีลักษณะเป็นเอ็นเส้นกลม ขนาดเล็ก



รูปที่ 2-12 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านนอก (Lateral ankle ligaments) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.3.2.2 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านใน (Medial ankle ligaments) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Deltoid ligament เป็นเอ็นที่มีลักษณะเป็นแผ่นแบนรูปสามเหลี่ยม แข็งแรงมาก เกาะจากตาตุ่มในไปยังกระดูกทาลัส และกระดูกนาวิคิวลาร์ ทางด้านล่าง ประกอบด้วยเอ็นทั้งสิ้น 4 เส้น (รูปที่ 2-13) ดังนี้

- (1) เอ็น Anterior Tibiotalar ยึดจากตาตุ่มในของกระดูกทาลัสไปยังส่วนคอของกระดูกทาลัส โดยเกาะเฉียงลงด้านล่าง และไปทางด้านหน้า
- (2) เอ็น Posterior Tibiotalar ยึดจากตาตุ่มในของกระดูกทาลัสไปยังปุ่มกระดูกด้านหลังของกระดูกทาลัส โดยเกาะเฉียงออกด้านนอก และไปทางด้านหลัง
- (3) เอ็น Tibiocalcaneal ยึดจากตาตุ่มในของกระดูกทาลัสไปยังส่วนข้างเป็นแนวตั้งไปยัง sustentum tali ของกระดูกแคลคาเนียส
- (4) เอ็น Tibionavicular ยึดจากตาตุ่มในของกระดูกทาลัสไปยังกระดูกนาวิคิวลาร์ พร้อมกับบางส่วนของเอ็นยังเชื่อมต่อเป็นเนื้อเดียวกันกับเอ็น Plantar calcneonavicular ใต้ฝ่าเท้าด้วย



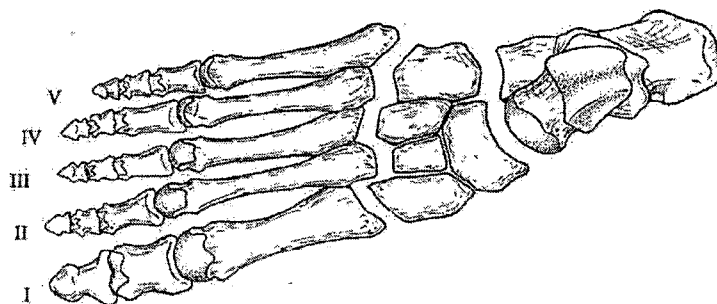
รูปที่ 2-13 เอ็นยึดข้อเท้าทางด้านใน (Medial ankle ligaments) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4 เท้า (Foot)

เท้าเป็นอวัยวะที่มีความสลับซับซ้อน ประกอบด้วยกระดูกทั้งสิ้น 26 ชิ้น ทำหน้าที่รับน้ำหนักร่างกายทั้งหมดในขณะยืน และสามารถเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่ง เช่น การเดิน การวิ่ง ซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ และความยืดหยุ่นตัวของเนื้อเยื่อเกี่ยวพันต่างๆ โดยรอบข้อต่อ

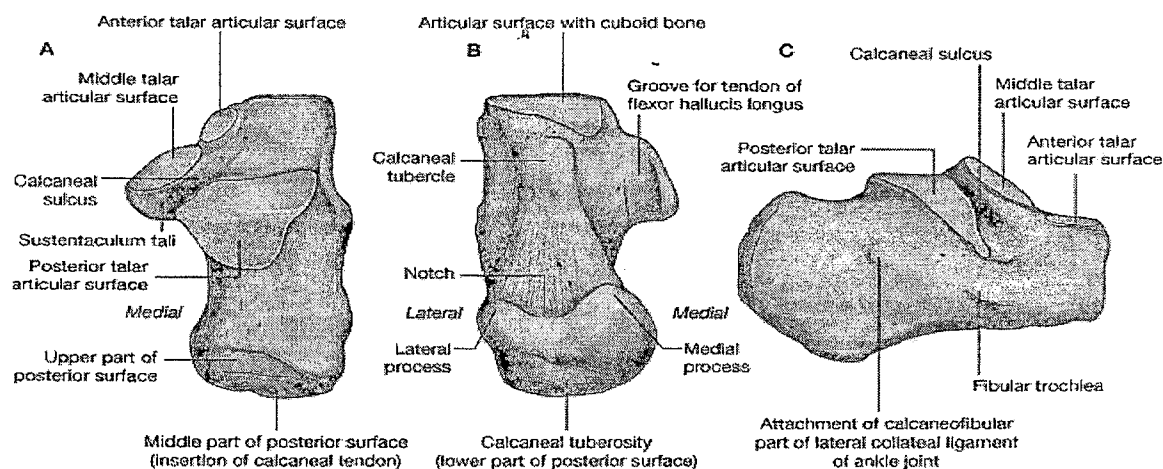
1.4.1 โครงสร้างของเท้า

เท้าประกอบด้วยกระดูกทั้ง 26 ชิ้น ประกอบด้วย กระดูกนิ้วเท้า (Phalanges) 14 ชิ้น กระดูกเมตatarsals (Metatarsals) 5 ชิ้น และกระดูกทาร์ซาล (Tarsals) 5 ชิ้น สามารถแบ่งตามหน้าที่ในการใช้งานและการรับน้ำหนัก ได้เป็น 3 ส่วน ดังรูปที่ 2-14



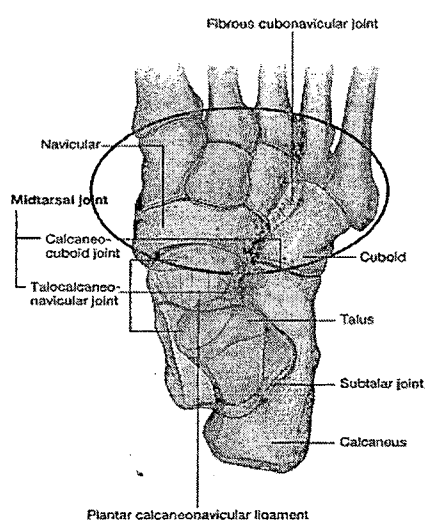
รูปที่ 2-14 โครงสร้างของเท้า แบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ ส่วนหน้า ส่วนกลาง และส่วนหลัง (Calais-Germain, 1999)

(1) ส่วนหลังของเท้า (Hind Foot / Rear Foot) วางตัวอยู่ภายใต้กระดูกทิเบีย ประกอบด้วยกระดูกทาลัส ซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งของข้อเท้า และกระดูกสันเท้า (Calcaneus) (รูปที่ 2-15)



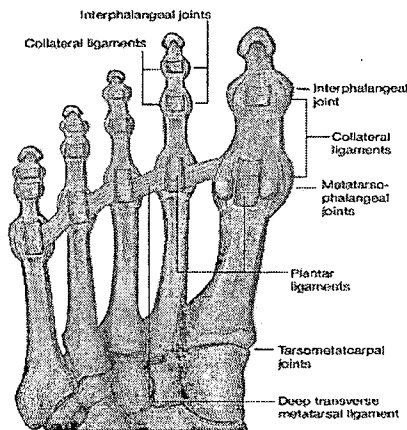
รูปที่ 2-15 กระดูกสันเท้า (Calcaneus) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

(2) ส่วนกลางของเท้า (Midfoot) ประกอบด้วยกระดูกทาลัส 5 ชิ้น แบ่งออกเป็นกระดูกนาวิคิวลาร์ (Navicular) 1 ชิ้น กระดูกคิวบอยด์ (Cuboid) 1 ชิ้น และกระดูกคูนีฟอร์ม (Cuneiform) 3 ชิ้น เรียงต่อกัน 2 แถวแบบไม่ชัดเจนนัก เนื่องจากกระดูกคิวบอยด์วางตัวกินพื้นที่อยู่ทั้ง 2 แถว แถวแรกอยู่ใกล้ข้อเท้า ประกอบด้วยกระดูกนาวิคิวลาร์ทางด้านใน และกระดูกคิวบอยด์ทางด้านนอก ส่วนแถวที่ 2 อยู่ค่อนข้างทางด้านปลายเท้า ประกอบด้วยกระดูกคูนีฟอร์มทั้ง 3 ชิ้น ดังรูป 2-16



รูปที่ 2-16 โครงสร้างส่วนกลางของเท้า (Midfoot) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

(3) ส่วนปลายเท้า (Forefoot) ประกอบด้วย กระดูกเมตาทาล 5 ชิ้น และกระดูกนิ้วเท้า 14 ชิ้น ซึ่งนิ้วเท้าแต่ละนิ้วจะมีกระดูกนิ้วเท้า 3 ชิ้น ยกเว้น นิ้วหัวแม่เท้า จะมีกระดูกนิ้วเท้าเพียงแค่ 2 ชิ้นเท่านั้น ดังรูปที่ 2-17



รูปที่ 2-17 โครงสร้างส่วนปลายเท้า (Forefoot) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

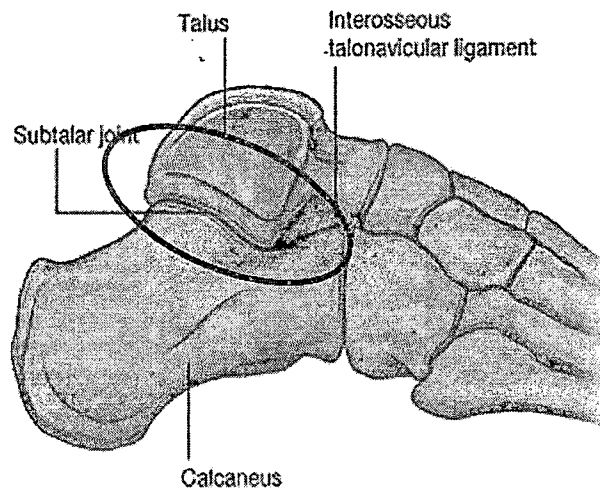
1.4.2 ข้อต่อ และเอ็นยึดข้อต่อต่างๆในฝ่าเท้า

เนื่องจากฝ่าเท้าประกอบด้วยกระดูกทั้งสิ้น 26 ชิ้น รูปร่างของกระดูกภายในฝ่าเท้ามีรูปร่างค่อนข้างจำเพาะ จึงทำให้มีข้อต่อเป็นจำนวนมาก ดังรายละเอียดต่อไปนี้

1.4.2.1 ข้อต่อ Subtalar

เป็นข้อต่อที่เกิดจากการเชื่อมต่อระหว่างกระดูกทาลัสด้านบนกับกระดูกแคลคาเนียสด้านล่าง เป็นข้อต่อประเภทผิวเรียบ (Plane joint) มักเกิดการเคลื่อนไหวร่วมไปกับข้อเท้า (Talocrural joint) (รูปที่ 2-18) เอ็นยึดข้อต่อข้อนี้มีเส้นหลักอยู่ 1 เส้น คือ เอ็น Interosseous talocalcaneal ที่ลักษณะเป็นแผ่นหนา แข็งแรง ยึดอยู่ภายใน sinus tarsi บริเวณกลางผิวหน้าข้อต่อที่แบ่งออกเป็นส่วนหน้าและส่วนหลัง นอกจากนี้ยังมีเอ็นอีก 4 เส้นที่ยึดระหว่างกระดูกทั้ง 2 คือ

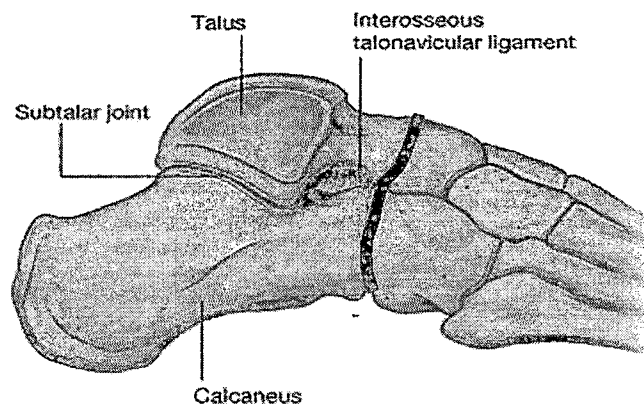
- (1) เอ็น Anterior talocalcaneal ยึดระหว่างคอกกระดูกทาลัสมายังด้านบนข้างหน้าค่อนออกด้านข้างของกระดูกแคลคาเนียส
- (2) เอ็น Posterior talocalcaneal ยึดระหว่างปุ่มกระดูกด้านข้างนอกของกระดูกทาลัสมายังด้านบนค่อนด้านในของกระดูกแคลคาเนียส
- (3) เอ็น Lateral talocalcaneal ยึดระหว่างด้านข้างนอกของกระดูกทาลัสใต้ต่อตาตุ่มนอกไปยังกระดูกแคลคาเนียสทางด้านนอก โดยวางตัวคู่ขนานไปกับเอ็น Calcaneofibular
- (4) เอ็น Medial talocalcaneal ยึดระหว่างปุ่มกระดูกด้านข้าง.๐ของกระดูกทาลัสมายังด้านในของกระดูกแคลคาเนียส



รูปที่ 2-18 ข้อต่อ Subtalar (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.2.2 ข้อต่อ Transverse Tarsal

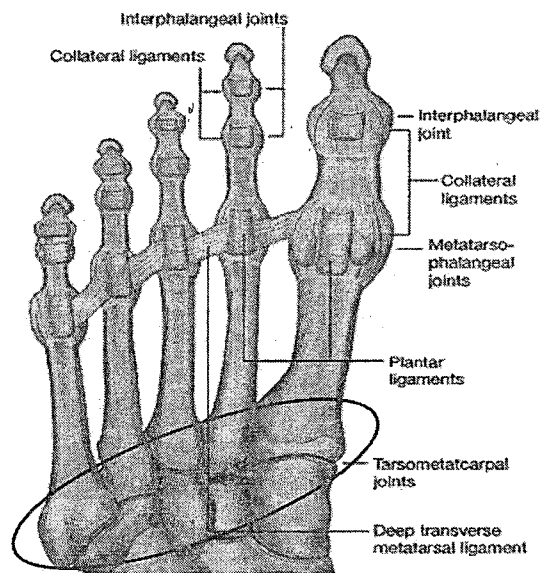
เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกแคลคาเนียสกับกระดูกคิวบอยด์ทางด้านนอก และกระดูกทาลัสกับกระดูกนาวิคิวลาร์ทางด้านใน (รูปที่ 2-19)



รูปที่ 2-19 ข้อต่อ Transverse Tarsal (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.2.3 ข้อต่อ Tarsometatarsal

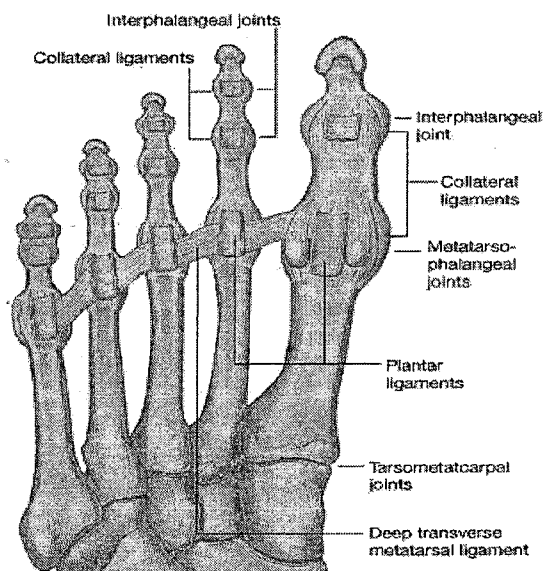
เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกคูนiform ด้านในกับกระดูกเมตาทาร์ซาล (Metatarsal bone) อันที่ 1. กระดูกคูนiform ข้างกลางกับกระดูกเมตาทาร์ซาลอันที่ 2 กระดูกคูนiform ด้านนอกกับกระดูกเมตาทาร์ซาลอันที่ 3 และกระดูกคิวบอยด์กับกระดูกเมตาทาร์ซาลอันที่ 4 และ 5 (รูปที่ 2-20)



รูปที่ 2-20 ข้อต่อ Tarsometatarsal (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.2.4 ข้อต่อ Metatarsophalangeal

เป็นข้อต่อระหว่างกระดูกเมตาทาร์ซาล และกระดูกนิ้วเท้าขั้นต้น (Proximal phalanges) และข้อต่อ Interphalangeal ในแต่ละนิ้วเท้าจะมีข้อต่อดังกล่าวนี้นี้ละ 2 ข้อต่อ คือ ข้อต่อ Proximal และ Distal interphalangeal ยกเว้นนิ้วหัวแม่เท้าที่จะมีข้อต่อนี้เพียงแค่ข้อต่อเดียวเท่านั้น ดังรูป 2-21



รูปที่ 2-21 ข้อต่อ Metatarsophalangeal (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.3 โค้งของฝ่าเท้า (Arches of Foot)

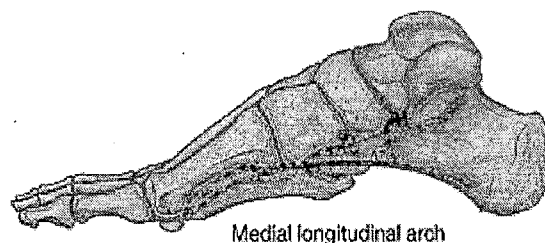
เท้าของมนุษย์มีหน้าที่สำคัญอยู่ 2 อย่าง คือ การรับน้ำหนักตัว และการเคลื่อนที่ หน้าที่ต่างๆ เหล่านี้จำเป็นต้องอาศัยความมั่นคงของโครงสร้างอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ ยังต้องมีความยืดหยุ่นตัวมากพอที่จะปรับให้เข้ากับการเคลื่อนไหว เช่น การยืน การเดิน หรือแม้แต่การปรับตามสภาพพื้นผิวที่ไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นในฝ่าเท้าจึงประกอบด้วยโค้งของเท้า 2 โค้ง คือ โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาว (Longitudinal arch) และ โค้งของฝ่าเท้าตามแนวขวาง (Transverse arch) (Cailliet, 1997)

1.4.3.1 โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาว (Longitudinal arch)

โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวประกอบขึ้นมาจากกระดูกสันเท้า กระดูกทาร์ซาล และกระดูกเมตาทาร์ซาล ดังรูป 2.13 แบ่งออกเป็น 2 โค้ง คือ โค้งของฝ่าเท้าด้านใน และด้านนอก (Medial and lateral longitudinal arches)

(1) โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านใน (Medial longitudinal arch)

โค้งนี้อยู่บริเวณขอบของฝ่าเท้าด้านใน ซึ่งมีความสำคัญที่สุด และมีความสูงกว่าด้านนอก ประกอบขึ้นจากกระดูกสันเท้า กระดูกทาลัส กระดูกนาวิคิวลาร์ กระดูกคูนีฟอร์ม และกระดูกเมตาทาร์ซาลอันที่ 1 ดังรูป 13 กระดูกทาลัสวางตัวอยู่ในตำแหน่งสูงที่สุดของโค้งนี้ โค้งของฝ่าเท้าด้านนี้ได้รับการพยุงจากกล้ามเนื้อ Tibialis anterior และ posterior รวมไปถึงกล้ามเนื้อ Flexor hallucis longus และกล้ามเนื้อ Flexor digitorum longus เส้นเอ็นของกล้ามเนื้อ Tibialis posterior ซึ่งเกาะที่ฐานของกระดูกเมตาทาร์ซาลอันที่ 2-4 โดยลอดใต้ Spring ligament ทำหน้าที่คล้ายห่วงคล้องโค้งของฝ่าเท้าให้ยกตัวไว้ (Cailliet, 1997; Drake, Vogl & Mitchell, 2005) (รูปที่ 2-22)

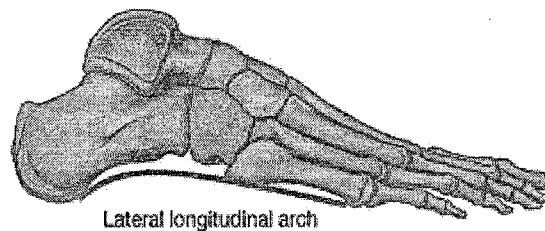


รูปที่ 2-22 โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านใน (Medial longitudinal arch) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

(2) โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านนอก (Lateral longitudinal ligament)

โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านนอกเป็นขอบทางด้านข้างของเท้าที่แบนกว่า โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านใน โค้งนี้ประกอบด้วยกระดูกสันเท้า กระดูกคิบอยด์ และกระดูกเมตาทาร์ซาล

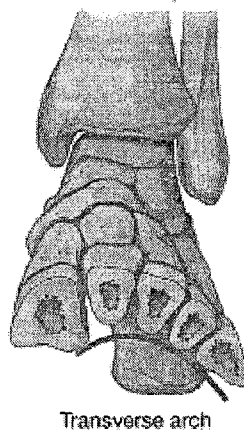
อันที่ 4 และ 5 ทำหน้าที่รับน้ำหนักขณะยืน หรือในช่วงแรกของการลงน้ำหนักโดยมีกล้ามเนื้อ Peroneus brevis และ longus และ Flexor digitorum longus ช่วยพยุงโค้งนี้ไว้ (Cailliet, 1997; Drake, Vogl & Mitchell, 2005) (รูปที่ 2-23)



รูปที่ 2-23 โค้งของฝ่าเท้าตามแนวยาวด้านนอก (Lateral longitudinal ligament) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.3.2 โค้งของเท้าตามแนวขวาง (Transverse arch)

โค้งของเท้าตามแนวขวางประกอบด้วยกระดูกคูนีฟอร์ม กระดูกคิวบอยด์ และฐานของกระดูกเมตาทาลทั้ง 5 ชิ้นโดยมีกล้ามเนื้อ Peroneus longus ช่วยพยุงโค้งนี้ไว้ (Cailliet, 1997; Drake, Vogl & Mitchell, 2005) โค้งนี้จะแบนราบลงในขณะที่ลงน้ำหนัก (รูปที่ 2-24)



รูปที่ 2-24 โค้งของเท้าตามแนวขวาง (Transverse arch) (Drake, Vogl, & Mitchell, 2005)

1.4.4 ประเภทของเท้า (Types of Foot)

เท้าเป็นส่วนแรกของระยางค์ขาที่สัมผัสกับพื้น ในระหว่างที่มีการเคลื่อนไหว เท้าจะทำหน้าที่รับน้ำหนักตัว และส่งผ่านน้ำหนักตัวโดยมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะการวางเท้าระหว่างการคว่ำ (Pronated position) และการหงาย (Supinated position) ซึ่งส่งผลต่อการเคลื่อนไหวส่วนอื่นๆ ในระยางค์ขา เช่น เกิด

การหมุนของกระดูกหน้าแข้ง เกิดการเลื่อนตัวของกระดูกสันเท้า เป็นต้น และยังทำให้การกระจายแรงปฏิกิริยาจากพื้นมีการเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย จากการเรียงตัวของกระดูกเท้า และลักษณะการลงน้ำหนัก จึงทำให้สามารถแบ่งเท้าตามความสูงของโค้งด้านในของฝ่าเท้าได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1.4.4.1 เท้าที่มีโค้งด้านในต่ำกว่าปกติ หรือ เท้าแบน (The Low-arched Foot or Flatfeet)

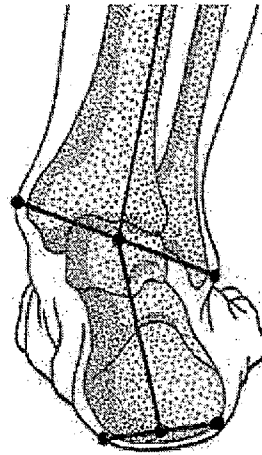
เท้าลักษณะนี้จะมีการคว่ำตัวของฝ่าเท้าเข้าด้านใน (Foot pronation) สันเท้าจะเอียงออกด้านนอก (Valgus heel) โค้งของฝ่าเท้าด้านในจะยุบแบนราบลงกับพื้น เนื่องจากส่วนกลางของฝ่าเท้าสามารถเคลื่อนไหวได้มากกว่าปกติ (รูปที่ 2-25) ในขณะที่มีการลงน้ำหนัก ปัจจุบันสามารถพบคนที่มีเท้าลักษณะดังกล่าวได้มากถึง 30% เท้าประเภทนี้อาจเกิดได้จาก 2 สาเหตุ คือ

(1) โค้งของฝ่าเท้าด้านในสามารถเคลื่อนที่ได้มากกว่าปกติ ทำให้โคนนิ้วหัวแม่เท้าไม่สามารถช่วยในการรองรับน้ำหนักระหว่างที่มีการลงน้ำหนักลงบนฝ่าเท้าได้ดีเท่าที่ควร จึงทำให้โค้งของฝ่าเท้ายุบตัวลง

(2) กล้ามเนื้อน่องตึงตัว (Gastrocnemius equines contracture) ในกรณีนี้ ถ้ากล้ามเนื้อน่องตึงตัวมากเกินไป จะทำให้ข้อต่อ Talonavicular หมุนออกด้านข้าง ส่งผลให้ปลายเท้าเบนออกด้านนอก (Foot abduction) เป็นเหตุให้โค้งของฝ่าเท้าด้านในยุบตัวลง มักพบในเด็กที่เป็นเท้าแบน ระหว่างที่มีการเคลื่อนไหว เช่น การเดิน จะมีน้ำหนักส่งผ่านฝ่าเท้าในลักษณะแรงกด (Compressive force) ต่อข้อต่อ และแรงดึงยึด (Tensile force) ต่อเอ็นข้อต่อและเอ็นกล้ามเนื้อ ทำให้เอ็นกล้ามเนื้อ โดยเฉพาะเอ็นกล้ามเนื้อ Tibialis posterior ต้องทำงานหนักมากขึ้นกว่าปกติในการดึงให้โค้งของฝ่าเท้ายังคงรูปอยู่ก่อนที่จะถึงเท้าเพื่อก้าวเดินออกไป ซึ่งจะเกิดซ้ำแล้วซ้ำอีกต่อโครงสร้างของฝ่าเท้า ส่งผลให้เกิดเอ็นกล้ามเนื้ออักเสบ เอ็นใต้ฝ่าเท้าอักเสบ หรือ Tarsal tunnel syndrome ส่วนแรงกดจะส่งผลต่อกล้ามเนื้อ เอ็น และเนื้อเยื่อต่างๆ ใต้ฝ่าเท้าถูกยืดมากเกินไป ดังนั้นขณะที่มีการส่งผ่านน้ำหนักจากสันเท้าไปยังปลายเท้า น้ำหนักจะกระจายไม่สม่ำเสมอ ทำให้โค้งฝ่าเท้าด้านในไม่สามารถดูดซับแรงกระแทกได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ ยังทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของกระดูกสันเท้าไปด้านนอก กระดูกหน้าแข้ง และกระดูกต้นขาหมุนเข้าด้านในตามมาได้

1.4.4.2 เท้าที่มีโค้งปกติ (The Medium-arched Foot or Neutral foot)

เท้าประเภทนี้พบมากที่สุด โดยปกติระหว่างที่มีการเคลื่อนไหว น้ำหนักจะมีการส่งผ่านจากสันเท้าไปยังปลายเท้า โดยส่งผ่านออกไปตามขอบด้านข้างนอก (Lateral side) ของฝ่าเท้าถึงบริเวณหัวกระดูกเมตาทาลาซาล น้ำหนักจะวกกลับเข้ามาทางด้านในถึงโคนนิ้วหัวแม่เท้า จากลักษณะการส่งผ่านน้ำหนักดังกล่าวนี้ โค้งเท้าด้านนอกจึงทำหน้าที่เป็นคานาแข็งสำหรับการส่งผ่านน้ำหนักตัว ส่วนโค้งเท้าด้านในจะยุบตัวลงในระยะที่มีการถ่ายโอนน้ำหนักตัวไปยังปลายเท้า ทำหน้าที่ในการดูดซับแรงกระแทกจากน้ำหนักตัว และแรงปฏิกิริยาตอบสนองจากพื้น

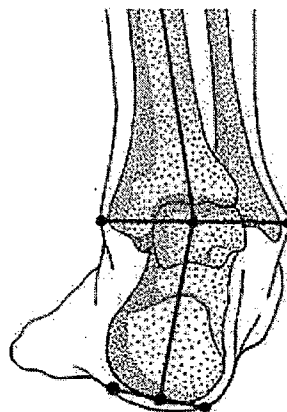


Pronation

รูปที่ 2-25 เท้าที่มีโค้งด้านในต่ำกว่าปกติ หรือ เท้าแบน (<http://www.steenwyk.com/conditions.php>)

1.4.4.3 เท้าที่มีโค้งสูงกว่าปกติ (The High-arched Foot)

เท้าลักษณะนี้จะมีลักษณะของโครงสร้างส่วนกลางฝ่าเท้าค่อนข้างตึงแข็ง สามารถเคลื่อนไหวได้น้อยมาก สันเท้ามีแนวโน้มที่จะเอียงเข้าด้านในมากกว่าปกติ (Varus heel) การเปิดฝ่าเท้าเข้าด้านในมากเกินไปกว่าปกติ ทำให้เท้าอยู่ในลักษณะหงายฝ่าเท้าขึ้น (Foot supination) ทำให้น้ำหนักตัวกดลงบนโคนนิ้วหัวแม่เท้ามากกว่าปกติ อาจส่งผลให้เกิด sesamoiditis หรือกระดูก sesamoid ร้าวได้ นอกจากนี้ น้ำหนักตัวจะกดลงบริเวณขอบด้านนอกของฝ่าเท้ามากกว่าปกติ ทำให้กล้ามเนื้อ และเอ็นรอบข้อเท้าต้องทำงานหนักขึ้นในการยึดข้อเท้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม และมีโอกาสเกิดข้อเท้าแพลงได้ง่าย ขณะที่มีการส่งผ่านน้ำหนักจากสันเท้าไปยังปลายเท้า น้ำหนักจะกระจายไม่สม่ำเสมอจะเกิดแรงกดทางกระดูกเมตาทาลอื่นที่ 5 มากกว่าปกติ นอกจากนี้ยังเกิดการเลื่อนตัวของกระดูกสันเท้าเข้าด้านใน และเกิดการหมุนของกระดูกหน้าแข้ง และกระดูกต้นขาออกด้านนอกตามมาได้ (รูปที่ 2-26)



Supination

รูปที่ 2-26 เท้าที่มีโค้งด้านนอกสูงกว่าปกติ (<http://www.steenwyk.com/conditions.php>)

612.75

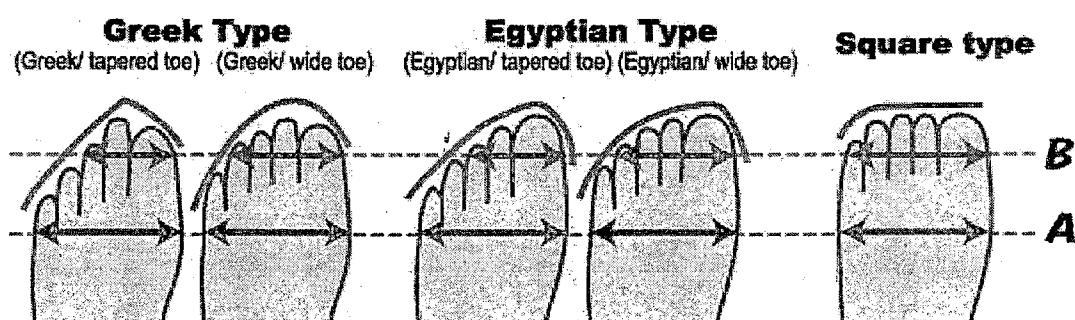
๐ ๙๗๓ ๑

๑.4

3 4 6 9 7 5

นอกจากจะแบ่งเท้าตามลักษณะโครงสร้างที่เกี่ยวข้องกับการลงน้ำหนัก ซึ่งส่งผลต่อความความผิดปกติในการลงน้ำหนักแล้ว เท้ายังสามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างของเท้าส่วนหน้าได้เป็น 3 ประเภท (Kurup, Clark, & Dega, 2011) (รูป 2-27) ดังนี้

1. เท้าแบบกรีก (Greek foot); เท้าประเภทนี้จะมีนิ้วเท้าอันที่ 2 ยาวกว่านิ้วเท้าอื่นๆ ทำให้ส่วนหน้าของฝ่าเท้า หรือปลายเท้ามีแนวโน้มค่อนข้างเรียวยาวกว่าเท้าประเภทอื่นๆ
2. เท้าแบบอียิปต์ (Egyptian foot); เท้าประเภทนี้จะมีนิ้วหัวแม่เท้ายาวกว่านิ้วเท้าที่เหลือ ทำให้ส่วนหน้าของฝ่าเท้า หรือปลายเท้ามีแนวโน้มแคบ แต่ไม่เหมาะกับรองเท้าที่ปลายแหลมเรียว
3. เท้าแบบสี่เหลี่ยม (Square foot); เท้าประเภทนี้จะมีนิ้วเท้าอย่างน้อย 3 นิ้วที่มีความยาวเท่า หรือใกล้เคียงกัน ทำให้ส่วนหน้าของฝ่าเท้า หรือปลายเท้ามีแนวโน้มกว้าง



Note the overall shape of toe tips as well as the width at point A and point B. Both Greek and Egyptian types have narrow tip and wide tip types.

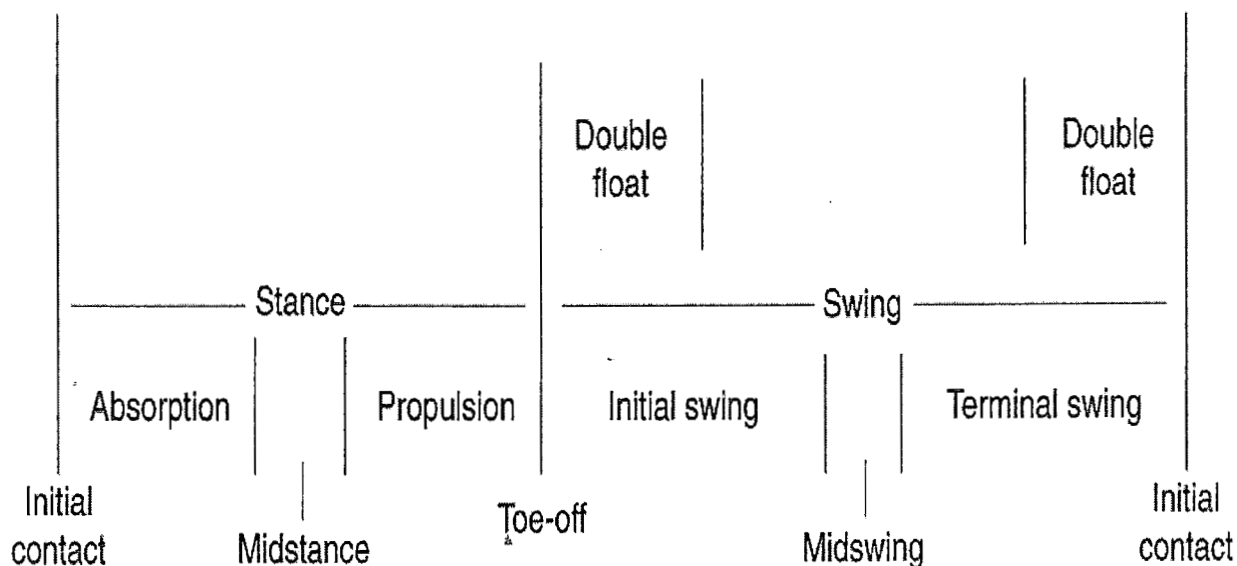
©Bordeaux

รูปที่ 2-27 เท้าแบ่งตามรูปร่างของปลายเท้า (http://www15.plala.or.jp/miagolare/Eng_Fitting_Chart.html)

2. ชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง

การวิ่งเป็นกิจกรรมนันทนาการที่ได้รับความนิยมสูงสุดกิจกรรมหนึ่ง การวิ่งจัดเป็นรูปแบบหนึ่งของการเคลื่อนที่พื้นฐานของมนุษย์ ซึ่งเป็นการพัฒนาลักษณะการเคลื่อนไหวมาจากการเดิน จึงมีลักษณะคล้ายคลึงกับการเดินมาก แต่แตกต่างกันที่ความเร็วในการเคลื่อนที่ นอกจากนี้รูปแบบของการเคลื่อนไหวก็ยังเป็นวงรอบ เช่นเดียวกับการเดิน ที่เริ่มต้นตั้งแต่ส้นเท้าข้างหนึ่งสัมผัสพื้นไปจนกระทั่งส้นเท้าข้างเดินสัมผัสพื้นอีกครั้งหนึ่ง ถึงแม้จะมีวงรอบการเคลื่อนไหวเช่นเดียวกับการเดิน แต่การวิ่งจะมีลักษณะการเคลื่อนไหวเฉพาะที่แตกต่างไปจากการเดินนั้นคือ ช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) และช่วงเวลาที่ลอยอยู่กลางอากาศ (Airborne or floating phase) โดยช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นนั้นจะสั้นกว่าการเดิน ช่วงเวลาที่ลอยอยู่กลางอากาศจะนานขึ้น และไม่มีช่วงเวลาใดที่เท้าทั้ง 2 ข้างจะสัมผัสพื้นพร้อมกัน (รูปที่ 2-28) ดังนั้นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิ่งจึงคล้ายคลึงกับการเดิน เช่น การหมุน และยกตัวของกระดูกเชิงกราน การงอข้อต่อต่างๆในรอยางค์ขา เป็นต้น

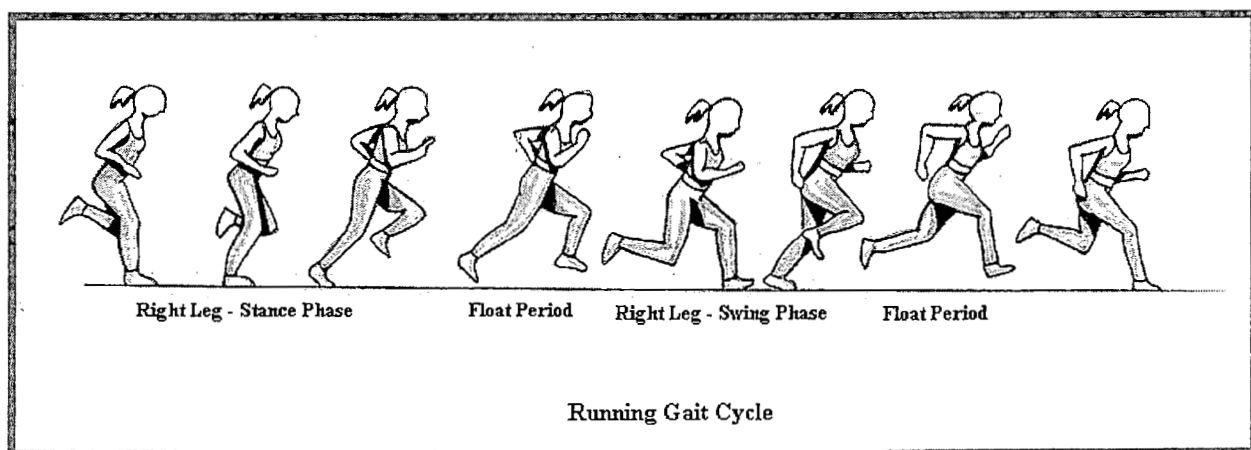
นอกจากนี้ เมื่อความเร็วของการวิ่งเพิ่มขึ้น โมเมนตัมก็จะสูงตามไปด้วย จึงขับเคลื่อนให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปข้างหน้าได้รวดเร็วกว่าการเดิน



รูปที่ 2-28 แบบจำลองช่วงเวลาของการวิ่ง (Houglum, 2005)

2.1 วงรอบของการวิ่ง

การกำหนดเส้นแบ่งเขตระหว่างการเดินทาง และการวิ่งเกิดขึ้นเมื่อช่วงเวลาของการลงน้ำหนักบนเท้า 2 ข้างพร้อมกัน(Double support) ระหว่างช่วงเท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ของการเดินทางเปลี่ยนไปเป็นช่วงเวลาที่เท้าทั้ง 2 ข้างลอยพ้นพื้น 2(Double float) ในช่วงต้น และท้ายของช่วงเวลาที่เหวี่ยงขา (Swing phase) ของการเดินทาง วงรอบการวิ่ง หมายถึงระยะเวลาตั้งแต่เท้าข้างหนึ่งสัมผัสอยู่กับพื้นไปจนกระทั่งถึงระยะเวลาที่เท้าข้างเดิมสัมผัสพื้นอีกครั้งหนึ่ง การวิ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วง คือ ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น และช่วงที่ลอยอยู่กลางอากาศ (รูปที่ 2-29)



รูปที่ 2-29 แสดงวงรอบของการวิ่ง (Running cycle)

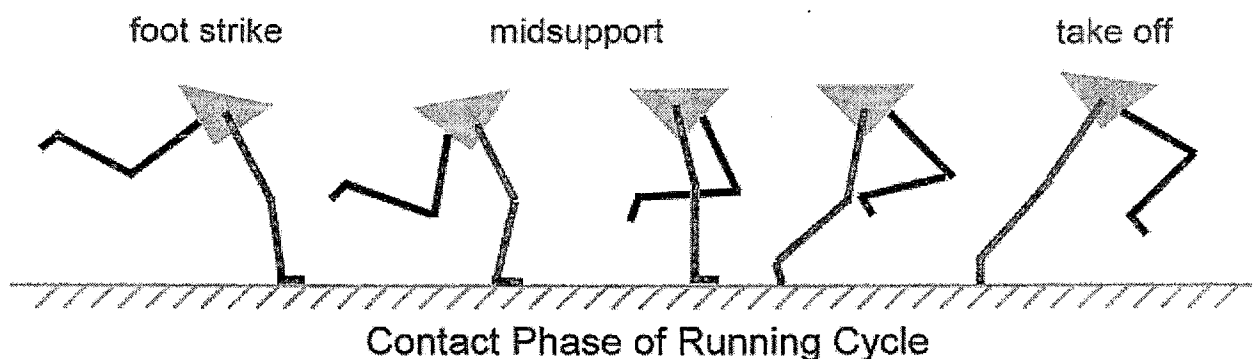
2.1.1 ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Contact phase)

ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น หมายถึงช่วงเวลาระหว่างที่เท้าข้างหนึ่งยังสัมผัสอยู่กับพื้นตลอดเวลา ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงย่อย คือ ช่วงที่เท้าเริ่มต้นสัมผัสพื้น (Foot strike) ช่วงกลางของการสัมผัสพื้น (Midstance) และช่วงเริ่มยกปลายเท้าพ้นพื้น (Toe-off) ดังรูปที่ 2-30 ช่วงเวลาดังกล่าวจะยาวประมาณ 30-40% ของวงรอบ สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ช่วงย่อย ดังนี้

(1) ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นครั้งแรก (Foot strike) ตำแหน่งที่เท้าวางสัมผัสพื้นครั้งแรกจะอยู่หน้าต่อจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงโลกไปข้างหน้าเล็กน้อย ปกติจะเป็นสันเท้าที่สัมผัสพื้นก่อน โดยวางในลักษณะคว่ำตัวเล็กน้อย (Pronation) (Bates, Osternig, & Mason, 1978; Mann, Baxter, & Lutter, 1981; Miliron & Cavanagh, 1990) จากนั้นน้ำหนักจะค่อยๆส่งผ่านออกไปทางขอบของเท้าทางด้านนอก

(2) ช่วงกลาง (Midsupport) ในช่วงนี้เท้าจะเปลี่ยนแปลงจากโครงสร้างที่สามารถขยับเขยื้อนได้ เป็นแกนแข็งเพื่อรองรับน้ำหนักร่างกายในขณะที่ส่งผ่านไปยังด้านหน้า น้ำหนักร่างกายจะเคลื่อนไปข้างหน้า ในขณะที่ฝ่าเท้าจะวางตัวในลักษณะค่อนข้างหงายขึ้นเล็กน้อย (Supination)

(3) ช่วงถีบปลายเท้า (Takeoff) เป็นช่วงที่สันเท้าเริ่มยกพ้นพื้น

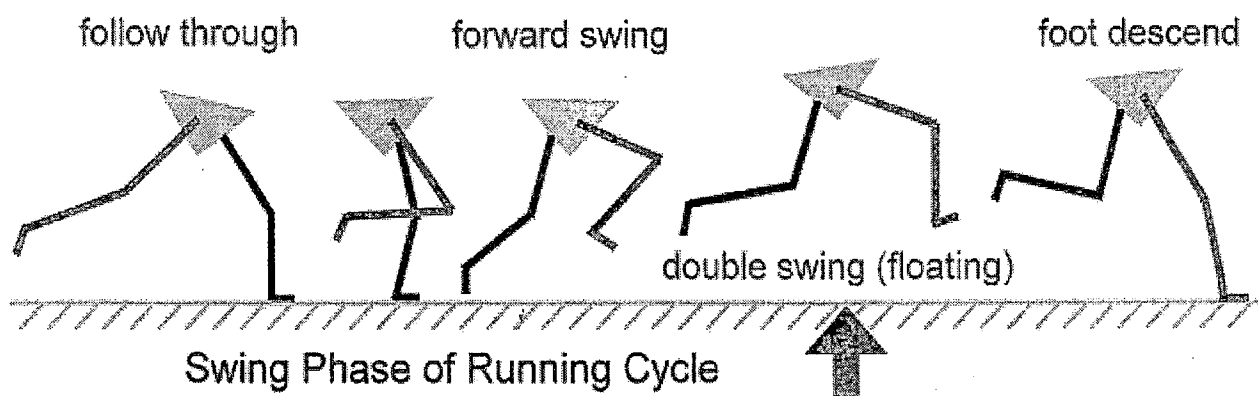


รูปที่ 2-30 ช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (School of Physical Therapy, National Taiwan University, Taipei, 2004)

2.1.2 ช่วงที่ขาเหวี่ยงไปข้างหน้า (Swing phase)

ช่วงที่ขาเหวี่ยงไปข้างหน้า หมายถึง ระยะเวลาตั้งแต่สิ้นสุดช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น ปลายเท้าเริ่มยกลอยพ้นพื้น และเหวี่ยงอยู่กลางอากาศจนกระทั่งเท้าข้างเดิมนั้นกำลังจะสัมผัสพื้นอีกครั้งหนึ่ง สามารถแบ่งออกเป็นช่วงย่อยได้ 3 ช่วง (รูปที่ 2-31) ดังนี้

- (1) ช่วงเริ่มเหวี่ยงขา (Initial swing หรือ Follow through)
- (2) ช่วงเหวี่ยงขาไปข้างหน้า (Forward swing)
- (3) ช่วงเริ่มวางเท้า (Foot descent)

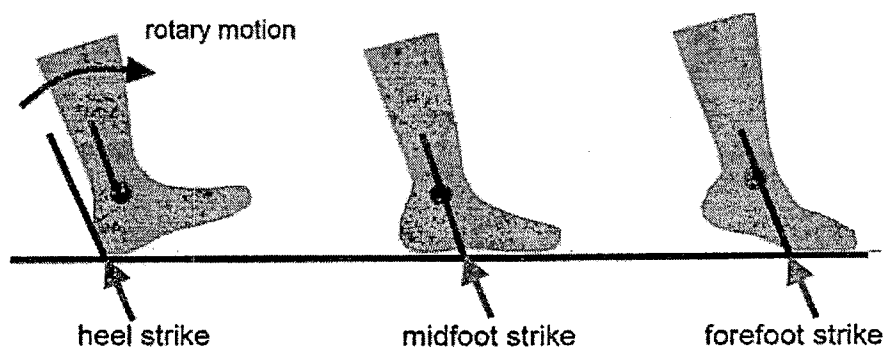


รูปที่ 2-31 ช่วงเวลาที่เหวี่ยงเท้าไปข้างหน้า (School of Physical Therapy, National Taiwan University, Taipei, 2004)

2.2 รูปแบบของการวางเท้า (Pattern of foot strike)

ตัวแปรหนึ่งที่มีส่วนสำคัญซึ่งสามารถทำให้การวิ่งมีรูปแบบที่แตกต่างกันออกไป คือ การวางเท้าสัมผัสพื้น จังหวะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้นแรกสุดในช่วงของการลงน้ำหนักสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ลักษณะตามตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงกดใต้ฝ่าเท้า (รูปที่ 2-32) ดังนี้

1. ปลายเท้าสัมผัสพื้น (Forefoot strike) หมายถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงกดใต้ฝ่าเท้าอยู่ประมาณ 1/3 ด้านปลายเท้า เป็นลักษณะการวางเท้าที่นิยมใช้กันในการวิ่งระยะไกล (Long-distance running) เนื่องจากส้นเท้ามีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ค่อนข้างดี
2. ส่วนกลางของเท้าสัมผัสพื้น (Midfoot strike) หมายถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงกดใต้ฝ่าเท้าอยู่ประมาณ 1/3 กลางเท้า
3. ส้นเท้าสัมผัสพื้น (Heel strike or Rearfoot strike) หมายถึงตำแหน่งของจุดศูนย์กลางแรงกดใต้ฝ่าเท้าอยู่ประมาณ 1/3 ค่อนไปทางส้นเท้า ส่วนมากนิยมใช้ในการวิ่งระยะสั้น (Sprinting)



รูปที่ 2-32 ลักษณะการวางเท้าแบบต่างๆ (School of Physical Therapy, National Taiwan University, Taipei, 2004)

2.3 ประสิทธิภาพของการวิ่ง (Efficiency of Running)

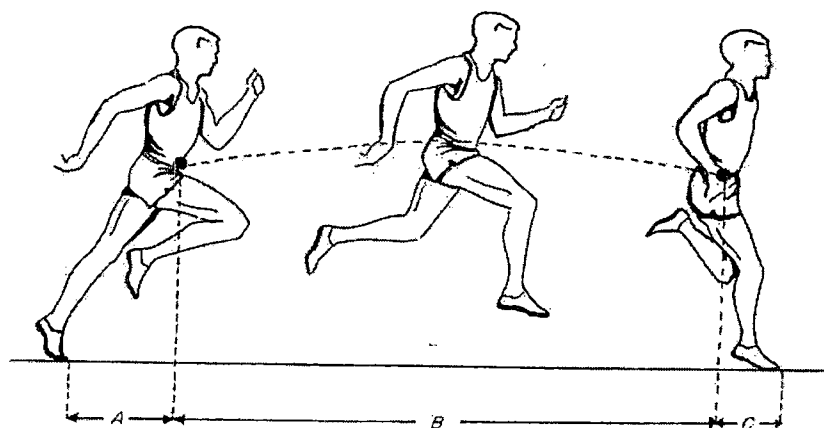
การเคลื่อนไหวด้วยการวิ่งนั้น มีวัตถุประสงค์หลักอยู่ที่จะทำอะไรให้เคลื่อนที่ไปได้ระยะทางมากที่สุด ไม่ว่าจะวิ่งกี่ก้าวหรือไม่ก็ตาม โดยใช้ระยะเวลาทั้งหมดน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ความเร็วที่นักกีฬาเคลื่อนที่ไปนั้น จึงสามารถประเมินได้จากปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่อไปนี้

1. ระยะทางที่นักกีฬาเคลื่อนที่ไปในแต่ละวงรอบของการวิ่ง (Stride) หรือเรียกอีกอย่างว่า ระยะการวิ่งต่อครั้ง (Stride length)
2. จำนวนวงรอบของการวิ่งที่ได้ในระยะเวลาที่กำหนด หรือเรียกอีกอย่างว่า ความถี่ของวงรอบการวิ่ง (Stride frequency)

2.3.1 ระยะการวิ่งต่อครั้ง (Stride length)

ระยะการวิ่งแต่ละครั้ง หมายถึง ผลรวมของระยะทางที่กำหนดดังนี้ (รูปที่ 2-33)

1. ระยะทะยานขึ้น (Takeoff distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างปลายเท้าถึงเส้นสมมุติที่ลากจากจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงโลกในจังหวะสุดท้ายก่อนยกเท้าพ้นพื้น หรือระยะ A ดังรูปที่ 2-33 ระยะดังกล่าวนี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพของนักกีฬา เช่น ความยาวขา พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก และตำแหน่งของร่างกาย เป็นต้น
2. ระยะลอยตัวกลางอากาศ (Flight distance) หมายถึง ระยะทางในขณะที่ยกเท้าลอยตัวกลางอากาศ วัดระหว่างเส้นสมมุติที่ลากจากจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงโลกในช่วงระยะทะยานขึ้นถึงเส้นสมมุติที่ลากจากจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงโลกในช่วงระยะลงสู่พื้น (Landing distance) หรือระยะ B ดังรูปที่ 2-33 ในขณะที่นักกีฬากำลังลอยตัวกลางอากาศ ปัจจัยที่เป็นตัวกำหนดระยะทางนั้นเป็นปัจจัยเดียวกับการเคลื่อนที่แบบโพรเจกไทล์ (Projectile motion) นั่นคือ ความเร็ว มุม และความสูงในขณะทะยานขึ้น และยังรวมถึงแรงต้านทานของอากาศ (Air resistance) ด้วย จากปัจจัยทั้งหมดนั้น ความเร็วเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุด ที่กำหนดโดยแรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force) ซึ่งเป็นผลมาจากแรงการหดตัวของกล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า
3. ระยะลงสู่พื้น (Landing distance) หมายถึง ระยะทางระหว่างเส้นสมมุติที่ลากจากจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วงโลกขณะลงสู่พื้นถึงปลายเท้าที่สัมผัสพื้น หรือระยะ C ดังรูปที่ 2-33 เป็นระยะที่สั้นที่สุด ในขณะที่ลงสู่พื้น แรงปฏิกิริยาจากพื้นอาจมีขนาดสูงถึง 2.2 เท่าของน้ำหนักตัว เทียบกับ 1.1 เท่าของน้ำหนักตัวในขณะเดิน (Cavanagh, 1980; Cavanagh, & LaFortune, 1980; Mann, 1982) ซึ่งเป็นตัวแปรกำหนดระยะลงสู่พื้นเพื่อให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสะท้อนเข้าสู่เท้าอย่างเหมาะสมที่สุด



รูปที่ 2-33 ระยะการวิ่งต่อครั้ง (Stride length) (Hay, 1993)

2.3.2 ความถี่ของวงรอบการวิ่ง (Stride frequency)

ความถี่ของวงรอบการวิ่ง หมายถึง จำนวนรอบของระยะการวิ่งที่นักกีฬาสามารถทำได้ในระยะเวลาที่กำหนด ดังนั้นระยะเวลาที่กำหนดนั้นมาจากผลรวมระยะเวลานักกีฬาสัมผัสอยู่กับพื้น กับระยะเวลานักกีฬาลอยตัวอยู่กลางอากาศ อัตราส่วนระหว่างระยะเวลาดังกล่าวนี้นักกีฬาวิ่งระดับชั้นนำ อยู่ในช่วงประมาณ 2:1 ในระยะออกตัว ไปจนถึงระหว่าง 1:1.3-1:1.5 ขณะวิ่งเต็มความเร็ว ระยะเวลานักกีฬาสัมผัสอยู่กับพื้นนั้นกำหนดโดยความเร็วในเบื้องต้น ซึ่งกล้ามเนื้อขาสามารถหดตัวผลักดันร่างกายให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าพร้อมกับขึ้นสู่ด้านบน เพื่อให้ร่างกายลอยพ้นพื้น ในขณะที่ปัจจัยที่เป็นข้อจำกัดความเร็วนั้นเชื่อว่าเกิดจากความสามารถในการทำงานประสานกันระหว่างระบบประสาท และระบบกล้ามเนื้อในการทำให้กล้ามเนื้อเกิดการหดตัว และคลายตัวอย่างรวดเร็ว รวมไปถึงน้ำหนักตัวที่กล้ามเนื้อจะต้องทำให้เคลื่อนที่ด้วย

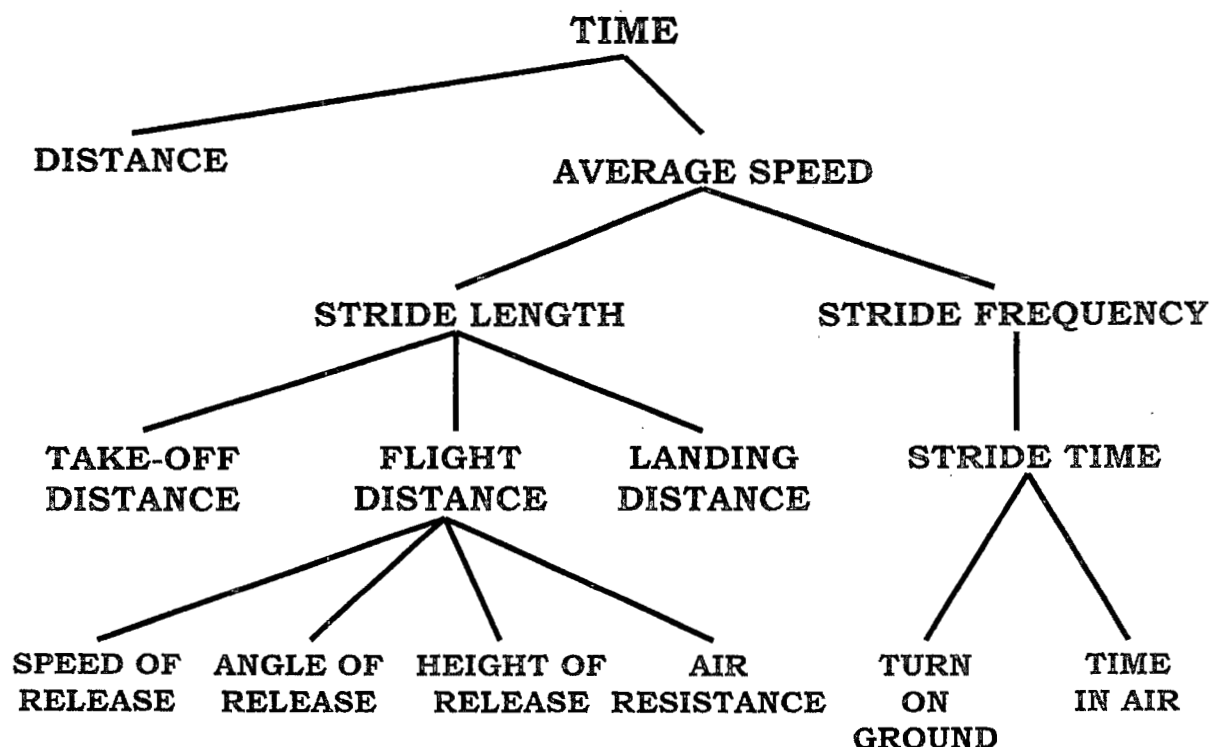
2.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะการวิ่งต่อครั้งกับความถี่ของวงรอบการวิ่ง

ระยะการวิ่งต่อครั้งกับความถี่ของวงรอบการวิ่งของนักกีฬาวิ่งระยะสั้นแปรผันไปตามความสามารถของแต่ละบุคคล จากการหาความสัมพันธ์กัน พบว่าความเร็วของการวิ่งจะเท่ากับผลคูณระหว่างระยะการวิ่งต่อครั้งกับความถี่ของวงรอบการวิ่ง ดังสมการ

$$\text{Speed} = \text{Stride length} \times \text{Stride frequency}$$

จากสมการแสดงว่า ถ้านักกีฬาต้องการเพิ่มความเร็วขึ้น จะต้องปรับให้ตัวแปรตัวใดตัวหนึ่งเพิ่มขึ้น โดยไม่ทำให้ตัวแปรอีกตัวหนึ่งลดลงมากเกินไปส่งผลต่อความเร็ว เนื่องจากความเร็วของการวิ่งขึ้นอยู่กับปริมาณของระยะการวิ่งต่อครั้ง และความถี่ของวงรอบการวิ่ง งานวิจัยหลายงานที่สนับสนุนความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างระยะก้าวและความเร็วของการวิ่ง นอกจากนี้ ยังพบความสัมพันธ์เชิงบวกระหว่างความสูง กับระยะการวิ่งต่อครั้งอย่างมาก โดยปกติแล้วคนสูงมักจะมีขายาว ดังนั้นจึงสามารถก้าวเท้าได้ยาวกว่า และยังมีสัมพันธ์เชิงบวกกับความถี่ของวงรอบการวิ่ง กล่าวคือ เมื่อก้าวเท้ายาวมากกว่า จะใช้เวลาแต่ละก้าวนานกว่า จึงได้ความถี่ของการก้าวน้อยลง (Teeple, 1968; Hoffman, 1972; Sparks, 1974)

นักวิ่งระยะสั้นมักจะก้าวเท้าค่อนข้างยาว ระยะก้าวของนักกีฬาระดับโลกชาย อยู่ที่ประมาณ 4.87 เมตร และหญิง ประมาณ 3.65-4.26 เมตร ความถี่ของวงรอบในนักกีฬาชายประมาณ 5 ก้าวต่อวินาที หญิง 4.48 ก้าวต่อวินาที กล่าวโดยสรุปถึงปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการวิ่งดังรูปที่ 2-34



รูปที่ 2-34 ปัจจัยพื้นฐานที่ส่งผลต่อการวิ่ง (Hay, 1993)

3. รองเท้าสำหรับวิ่ง

ความสัมพันธ์ของนักกีฬากับรองเท้าเป็นสิ่งที่สำคัญต่อสมรรถภาพของนักกีฬาเป็นอย่างยิ่ง ความต้องการในการพัฒนาประสิทธิภาพที่ส่งผลต่อนักกีฬา และมีอิทธิพลไม่เพียงแต่ต่อการฝึกเท่านั้น ยังมีอิทธิพลต่อการวิจัยและการออกแบบวัสดุอุปกรณ์อีกด้วย รองเท้าเป็นอุปกรณ์กีฬาเพียงอย่างเดียวที่ใช้ในกีฬารunning มีหน้าที่ป้องกันผิวหนังได้ฝ่าเท้าจากการเสียดสี หรืออันตรายอื่นๆจากพื้น ช่วยในการยึดเกาะ ควบคุมการเคลื่อนไหวของเท้า และส่งผ่าน รวมถึงกระจายแรงกระแทกขณะออกกำลังกาย (McPoil, 2000)

3.1 โครงสร้างของรองเท้า (Footwear construction and anatomy)

ถึงแม้ว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์ และวิธีการตลาดจะมีความแตกต่างกัน บริษัทผู้ผลิตยังคงใช้วิธีการหลักส่วนใหญ่ของการผลิตรองเท้าในการผลิตรองเท้ากีฬา (รูปที่ 2-35) องค์ประกอบเบื้องต้นของรองเท้า ประกอบด้วย ส่วนบนรองเท้า (Upper part) เป็นส่วนที่ห่อหุ้มบริเวณหลังเท้าทั้งหมด วัสดุที่ใช้อาจเป็นหนัง ผ้า หรือใยสังเคราะห์ที่สามารถระบายความร้อนได้ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วน คือ ส่วนด้านบนของรองเท้า (Upper part) และส่วนด้านล่างของรองเท้า (Bottom part) (Baxter, 1995)



รูปที่ 2-35 โครงสร้างรองเท้ากีฬา (Reyatt, 1992)

3.1.1 ส่วนด้านบนของรองเท้า

ส่วนด้านบนของรองเท้าเป็นส่วนที่อยู่เหนือพื้นรองเท้าขึ้นมา ได้รับการออกแบบเพื่อปกคลุมหลังเท้าทั้งหมด มักผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ที่มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น สามารถระบายอากาศได้ดี และยังต้องมีความทนทานต่อการใช้งาน ส่วนด้านบนของรองเท้ายังสามารถแบ่งออกเป็นส่วนย่อยได้ 5 ส่วน ดังนี้ (Baxter, 1995; Porter & Schon, 2007)

3.1.1.1 ช่องด้านหน้าของเท้า (Toe box)

ช่องด้านหน้าของรองเท้าอยู่ส่วนหน้าที่สุด มักทำจากวัสดุแข็ง วางตัวอยู่ระหว่างโครงรองเท้าด้านบน และนิ้วเท้า เพื่อป้องกันไม่ให้โครงยุบตัวลงมา และป้องกันนิ้วเท้าความกว้างและความสูงของช่องนี้จะขึ้นอยู่กับยี่ห้อ และรุ่นของรองเท้า แต่จะต้องมีความลึกเพียงพอที่จะไม่ให้นิ้วเท้าเกิดการเสียดสีกับผนังรองเท้า ป้องกันการเกิดถุงน้ำพุพองขึ้น

3.1.1.2 ลิ้นรองเท้า (Tongue)

มีรูปร่างเป็นแผ่นปิดอยู่ด้านบนของหลังเท้า ช่วยลดแรงกดจากเชือกผูกรองเท้า และยังช่วยให้การผูกเชือกรองเท้ากระชับยิ่งขึ้น ลิ้นรองเท้าได้รับการออกแบบมาเพื่อป้องกันหลังเท้าจากสิ่งสกปรก ความชื้น และแรงกดจากเชือกผูกรองเท้า

3.1.1.3 ช่องสำหรับร้อยเชือกผูกกรองเท้า (Eyelets)

ในรองเท้าบางรุ่นอาจใช้วัสดุประเภทอื่นในการยึดส่วนด้านบนของรองเท้าทั้ง 2 ฝั่งให้ติดกัน

3.1.1.4 ส่วนหุ้มส้นเท้า (Heel tab)

เป็นส่วนที่ห่อหุ้มอยู่โดยรอบส้นเท้าและเอ็นร้อยหวาย ช่วยยึดรองเท้าไว้กับส้นเท้า ทั้งยังช่วยป้องกันเอ็นร้อยหวายจากอันตรายที่อาจจะเกิดขึ้นได้

3.1.1.5 เก้าอี้กันกระแทกส้นเท้า (Heel counter)

เป็นโครงสร้างรูปถ้วยบริเวณส่วนท้ายของรองเท้า โอบรับส้นเท้าให้อยู่ในตำแหน่งที่เหมาะสม ป้องกันการบิดของส้นเท้า และเป็นส่วนสำคัญที่สุดในรองเท้าสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหว มักผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ชนิดต่างๆ เช่น พลาสติก พลาสติกเทอร์โม stytherm หรือโพลีไวนิล เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethylene vinyl acetate; EVA) เป็นต้น

3.1.1.6 Foxing เป็นแถบวัสดุที่ใช้รองรับด้านข้างไปยังด้านนอกของรองเท้า โดยปกติผลิตจากหนังนิ่ม หรือยาง ในรองเท้าสำหรับวิ่ง Foxing สำคัญมากที่สุดที่บริเวณนิ้วเท้า หรือเรียกอีกอย่างว่าหมวกเท้า (Toe cap) ส่วนรองเท้ากีฬาประเภทคอร์ท Foxing จะยึดอยู่โดยรอบด้านข้างทั้งหมดเพื่อรองรับ

3.1.2 ส่วนด้านล่างของรองเท้า

ส่วนด้านล่างของรองเท้ามีหน้าที่ช่วยรับแรงกระแทก สร้างเสริมความมั่นคงและป้องกันอันตรายต่างๆจากพื้นในขณะวิ่ง สามารถแบ่งออกเป็นสามส่วนย่อยได้ 3 ส่วน ดังนี้

3.1.2.1 พื้นชั้นในของรองเท้า (Insole)

ช่วยในการลดแรงกระแทก และลดแรงเสียดทาน เพิ่มความสวยงาม ความสบายให้กับผู้สวมใส่ ทำหน้าที่หลักเป็นพื้นที่กันชนระหว่างรองเท้าและเท้า นอกจากนี้ยังช่วยเติมอากาศ ดูดซับความชื้น ดูดซับแรงกระแทก และควบคุมการเคลื่อนไหวด้วย ยังสามารถเสริมอุปกรณ์เสริมโค้งงอของเท้า (Arch supports) และอุปกรณ์เสริมอื่นๆ เพื่อรองรับ ป้องกันการกระแทก และควบคุมการเคลื่อนไหวเพิ่มเติมได้ พื้นรองเท้าด้านในส่วนใหญ่แล้วจะสามารถถอดออกมาเพื่อทำความสะอาดได้ หรือสามารถใส่เสริมเข้าไปได้ มักผลิตมาจากวัสดุสังเคราะห์ที่มีความยืดหยุ่นพอสมควร เช่น นีโอพรีน หรือโพลีเอทิลีน (Baxter, 1995; Porter & Schon, 2007)

3.1.2.2 พื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole)

ความก้าวหน้าในอุตสาหกรรมรองเท้ากีฬาในปัจจุบันมุ่งเน้นไปยังการออกแบบ และวัสดุสำหรับผลิต Midsole เป็นส่วนที่มีความสำคัญที่สุดของรองเท้าสำหรับวิ่ง จะอยู่ระหว่างพื้นรองเท้าชั้นใน

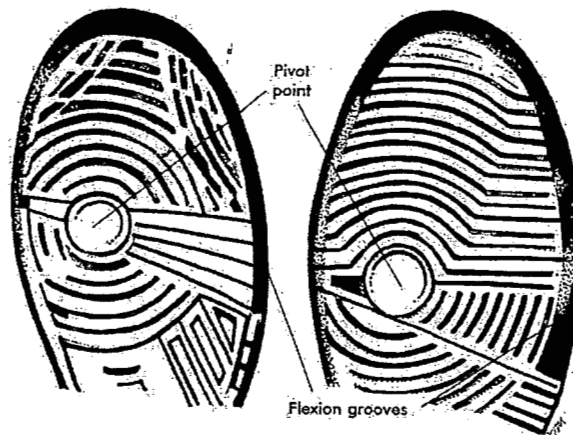
และชั้นนอก มีหน้าที่หลักในการป้องกัน ดูดซับแรงกระแทก และควบคุมการเคลื่อนไหว โดยช่วยรอง และกระจายแรงกระแทกจากพื้น (Wakeling et al., 2002) เสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรง และควบคุมการเคลื่อนไหว วัสดุที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าชั้นกลางไม่ควรแข็งหรือนุ่มจนเกินไป แต่จำเป็นต้องดูดซับแรงกระแทกได้ดี Midsole มักผลิตจากวัสดุพื้นฐาน 2 ประเภท คือ EVA และโพลียูรีเทน หรือทั้ง 2 ชนิดรวมกัน EVA มีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติป้องกันแรงกระแทก และสามารถผลิตได้ในหลากหลายความหนาแน่นเพื่อที่ที่ผู้ผลิตสามารถใช้ผลิตให้เหมาะกับรองเท้าประเภทที่กำหนด โดยปกติความหนาแน่นสูงของ Midsole จะได้รับการออกแบบให้มีสีเข้ม ซึ่งทำให้สามารถจัดวางตำแหน่งวิกฤตของ Midsole เพื่อช่วยควบคุมการเคลื่อนไหว ส่วนโพลียูรีเทนมีความหนาแน่นมากกว่า น้ำหนักมากกว่า และเป็นวัสดุที่มีความทนทานกว่า EVA รองเท้ากีฬาส่วนใหญ่มักใช้ทั้ง EVA และโพลียูรีเทนผสมกันเพื่อสร้างสมดุลระหว่างน้ำหนัก และการป้องกันแรงกระแทก บริษัทผู้ผลิตรองเท้าส่วนใหญ่จึงพัฒนา Midsole เฉพาะภายใต้ยี่ห้อสินค้าของตนเองโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อป้องกันการกระแทก กระจายแรงกด และเพิ่มความทนทาน ในขณะที่พยายามทำให้น้ำหนักเบาลดลง ปัจจุบันได้มีการบรรจุวัสดุเพื่อช่วยป้องกันการกระแทกต่างๆ เช่น ถุงลม (Air bags) เจล ซิลิโคน โครงรังผึ้ง และ EVA ไว้ในแคปซูลแทรกเข้าไปด้วย Midsole บางประเภทถูกปรับให้โค้งรับกับรูปร่างเท้า และอ้างอิงว่ามีความมั่นคงมากกว่า รองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งมักผลิตมาจากโฟลิมเมอร์ของเอทิลีนไวนิลอะซีเตต ซึ่งมีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับการดูดซับแรงกระแทก ความหนาแน่นโดยประมาณอยู่ในช่วงตั้งแต่ 150-250 กิโลกรัม/เมตร³ ส่วนโพลียูรีเทนนั้นเป็นวัสดุที่มีความหนาแน่นสูงกว่า มีน้ำหนักมากกว่าและทนทานกว่าเอทิลีนไวนิลอะซีเตต (Verdejo & Mills, 2004) บริษัทผู้ผลิตมักจะเพิ่มวัสดุเสริมเพื่อเพิ่มความมั่นคงแข็งแรง และดูดซับแรงกระแทกอื่นๆ เข้ามาที่ส่วนนี้ เช่น ถุงลม (Encapsulated air) เจล สปริง หรือวัสดุอื่นๆภายใต้การวิจัยของบริษัทผู้ผลิต แต่ไม่เป็นที่เปิดเผย Milgrom และคณะ (2001) ศึกษาผลของส่วนประกอบของ Midsole ต่อปริมาณแรงเค้นที่เกิดขึ้นต่อกระดูกหน้าแข้งในขณะเดิน ซึ่งตั้งสมมุติฐานว่าองค์ประกอบของพื้นรองเท้าสามารถส่งผลต่อระดับความเค้นที่มีต่อกระดูก และอัตราความเค้นที่สามารถส่งผลให้เกิดกระดูกหักได้ วัสดุที่ใช้ผลิตพื้นรองเท้าที่นำมาใช้ในการทดสอบเป็น Midsole ที่ทำจากโพลียูรีเทน และโพลียูรีเทนพร้อมกับฝัองเซลล์อากาศเข้าไปข้างใน Midsole ที่ทำจากโพลียูรีเทนพร้อมกับฝัองเซลล์อากาศเข้าไปข้างในพบแรงกด ความเค้นเฉือน และอัตราความเค้นเฉือนต่ำกว่าอย่างมีนัยสำคัญ สรุปได้ว่าพื้นรองเท้าที่ทำจากโพลียูรีเทน พร้อมกับฝัองเซลล์อากาศเข้าไปข้างในสามารถป้องกันกระดูกหักได้



รูปที่ 2-36 พื้นรองเท้าชั้นกลาง (Midsole) : รองเท้าด้านบนสุดผลิตจาก Thermoplastic urethane (TPU; สีน้ำเงิน) อยู่ก่อนไปทางส่วนของเท้าด้านหลัง รองเท้ารูปกลางผลิตจาก dual density EVA (สีเทา) ครอบคลุมจากส่วนของเท้าด้านหลังผ่านมายังโค้งด้านในของฝ่าเท้า รองเท้าด้านล่างผลิตจาก dual density EVA (สีเทา) ครอบคลุมจากส่วนของเท้าด้านหลังผ่านมายังโค้งด้านในของฝ่าเท้าผสมกับ TPU (เส้นสีดำและแดง) ที่โค้งด้านในของฝ่าเท้า (American Academy of Podiatric Sports Medicine จาก <http://www.aapsm.org/runshoe-running-anatomy.html>)

3.1.2.3 พื้นชั้นนอกของรองเท้า (Outsole)

เป็นส่วนที่อยู่ด้านนอกสุดของพื้นรองเท้าที่สัมผัสกับพื้น และยึดต่อกับ Midsole เพื่อประกอบกันเข้าเป็นพื้นรองเท้าอย่างสมบูรณ์ ได้รับการออกแบบมาเพื่อการยึดเกาะ ดูดซับแรงกระแทก และป้องกันเท้าจากอันตรายต่างๆจากการออกกำลังกาย วัสดุที่ใช้ผลิตมักเป็นยางคาร์บอนซึ่งเป็นวัสดุประเภทเดียวกับวัสดุที่ใช้ทำยางรถยนต์ มีความหนาแน่น และทนทานสูง แต่ขาดความยืดหยุ่น และยาง Blown rubber ซึ่งเป็นวัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้าที่เบาที่สุด มีความหนาแน่นน้อยกว่า น้ำหนักเบากว่า และมีความยืดหยุ่นกว่ายางคาร์บอน (Baxter, 1995 ; Porter & Schon, 2007) พื้นรองเท้าหลายๆ ประเภทมักประกอบด้วยยางทั้ง 2 แบบ โดยใช้ยาง Blown rubber ที่ส่วนหน้าและกลางเท้า และใช้ยางคาร์บอนในบริเวณที่รับน้ำหนักสูงของส้นเท้า ยาง Gum rubber เป็นยางที่แข็ง แต่ยึดเกาะได้ดีในเกือบทุกพื้นผิว โพลียูรีเทนเป็นยางที่อ่อนนุ่มที่สุดสำหรับใช้เพื่อใช้เป็นวัสดุสำหรับทำพื้นรองเท้า แต่ก็มีความทนทานดี ไนลอน หนึ่ง และ PVC ใช้ทำพื้นรองเท้าสำหรับรองเท้ากีฬาเฉพาะ นอกจากวัสดุที่ใช้แล้ว รูปแบบการออกแบบของพื้นรองเท้าชั้นนอกยังส่งผลต่อการเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรง และการยึดเกาะพื้นด้วย การออกแบบดังกล่าวมักมีรูปแบบแปรไปตามพื้นผิวของสนาม สภาวะอากาศ และชนิดกีฬา รูปแบบของพื้นรองเท้าสามารถเพิ่มความมั่นคง และการยึดเกาะได้ ซึ่งสามารถปรับปรุงความเบาของรองเท้าได้โดยเพิ่มวัสดุที่ส่วนกลางของ Midsole ในขณะที่กำจัดบางส่วนของพื้นด้านล่าง และน้ำหนักบางส่วนออก การออกแบบพื้นรองเท้า (รูปที่ 2-37) สามารถปรับเพิ่มการลดแรงกระแทก การยึดเกาะ จุดหมุน ความยืดหยุ่น และหมุดรองเท้าได้



รูปที่ 2-37 รูปแบบของพื้นรองเท้า (Reyatt, 1992)

พื้นรองเท้ามีลักษณะเฉพาะสำหรับพื้นผิว สภาพอากาศ และประเภทกีฬา ตัวเลือกของพื้นรองเท้าประกอบด้วย

1. การเสริมพื้นที่การสึกหรอ ใช้ในรองเท้าสำหรับวิ่ง (Wear-area reinforcement)
2. การออกแบบแคนติลิวเวอร์ ใช้สำหรับดูดซับแรงกระแทก (Cantilevered designs)
3. จุดหมุน ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทคอร์ท (Pivot points)
4. ลวดลายรูปฟันปลาหรือซิกแซก ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทคอร์ท (Herringbone)
5. การออกแบบยางดูด ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทคอร์ท (Suction-cup designs)
6. การออกแบบการยึดเกาะ หรือหมุดรองเท้า ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทสนาม (Multiclaw or stud designs)
7. Radial edges ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทคอร์ท
8. หมุดรองเท้าไม่สมมาตร ใช้ในรองเท้ากีฬาประเภทสนาม
9. การยึดเกาะและการสึกหรอของพื้นรองเท้าเดินป่าและปีนเขา (Traction and wear lugs)

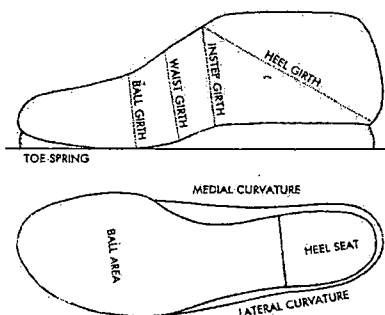
การยึดเกาะสำหรับพื้นรองเท้าเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบของรองเท้ากีฬา และสัมพันธ์โดยตรงกับความสามารถของรองเท้าต่อการพัฒนาแรงเสียดทานกับพื้นผิว ความต้องการการยึดเกาะขึ้นอยู่กับความต้องการของกีฬาเฉพาะประเภท การยึดเกาะที่น้อยจนเกินไปอาจส่งผลเชิงลบต่อสมรรถภาพของนักกีฬา แต่การยึดเกาะที่มากจนเกินไปก็อาจส่งผลให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บได้เช่นเดียวกัน (Torg & Quendenfeld, 1971) รองเท้าสำหรับวิ่งควรมีการยึดเกาะกับพื้นได้อย่างมั่นคงเพียงพอ เพื่อให้วิ่งสามารถสร้างแรงถีบเท้า และไม่สูญเสียไปในจังหวะถีบเท้า ในจังหวะดังกล่าวมีความต้องการแรงยึดเกาะสูงสุด ดังนั้น ส่วนหน้าของพื้นรองเท้าควรผลิตให้มีแรงยึดเกาะสูงสุด โดยทั่วไปแล้ว ยางสำหรับผลิตพื้นรองเท้าในรองเท้าสำหรับวิ่งมักใช้ยาง Blown rubber ซึ่งมีการฉีดยางอากาศเข้าไปเพื่อให้มีน้ำหนักเบาขึ้น หรือยางคาร์บอนแข็ง รองเท้าประเภทที่มีหมุดใต้รองเท้าต้องผสมผสานระหว่างสมรรถภาพ และการป้องกันการบาดเจ็บของนักกีฬา แรงยึดเกาะแบบหมุน ซึ่งแสดงในรูปของทอร์กรอบแกนที่พัฒนาไปเพื่อต้านการหมุนของ

รองเท้าต่อพื้นผิวของสนาม ต้องถูกลดลงเพื่อลดอุบัติเหตุการบาดเจ็บ ในขณะที่ต้องมีแรงยึดเกาะที่พอเพียง ด้วย ทั้งความยาวของหมุด และวัสดุที่ใช้ผลิตพื้นรองเท้าส่งผลต่อแรงเสียดทานทั้งสิ้น Torg และ Quendenfeld (1971) สรุปว่าคุณสมบัติแรงยึดเกาะแบบหมุนที่เพิ่มขึ้นของรองเท้าฟุตบอลบางคู่สัมพันธ์กับการเพิ่มขึ้นของจำนวนการบาดเจ็บข้อเข่าอย่างมีนัยสำคัญ

ความจำเป็นในการเคลื่อนไหวไปทางด้านข้างของกีฬาประเภทคอร์ททำให้คุณสมบัติการยึดเกาะของรองเท้าประเภทนี้มีความสำคัญ รูปแบบพื้นรองเท้าแบบพัฒนาแรงเสียดทานได้สูงสุด ในขณะที่รูปแบบลวดลายแบบพื้นปลาทำให้เกิดแรงเสียดทานได้น้อยกว่า (Valiant, 1986) สำหรับการออกตัววิ่ง (Sprinting) การสัมผัสพื้นช่วงต้นเกิดขึ้นที่ส่วนหน้าของรองเท้า แต่จังหวะที่เท้าสัมผัสพื้น (Foot strike) นักกีฬาจะสร้างความเร็วตามแนวระนาบ (Horizontal velocity) สูงขึ้น ส่งผลให้เกิดแรงเบรกสูงขึ้นด้วย ซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนไหวไปทางด้านหลังได้ ลวดลายพื้นปลาทางด้านหน้าจึงช่วยป้องกันการลื่นได้ ในกีฬากระโดด นักกีฬาจะเปลี่ยนโมเมนตัมตามแนวระนาบในขณะที่วิ่งเข้ากระโดดไปสู่โมเมนตัมตามแนวตั้งในขณะทะยานขึ้น ลวดลายพื้นปลาจะช่วยป้องกันการลื่น และยังช่วยพัฒนาแรงสปริงข้อเท้าที่จำเป็นต้องการกระโดดได้ด้วย ส่วนกีฬากอล์ฟ การเคลื่อนไหวโดยมากแล้วจะเกิดความเร็วตามแนวระนาบเพียงเล็กน้อยขณะที่เท้าอยู่นิ่งๆกับที่ รองเท้ากอล์ฟจึงใช้เป็นฐานรองรับที่ช่วยให้สมรรถภาพของการเคลื่อนไหวร่างกายที่จำเป็นประสานสัมพันธ์กันในขณะที่ตีลูกกอล์ฟ ลวดลายพื้นปลาจะช่วยป้องกันการลื่นได้ ส่วนรองเท้าสำหรับกีฬาทางน้ำจะเป็นยางธรรมชาติเพื่อป้องกันการลื่นบนพื้นผิวที่เปียกน้ำ (Porter & Schon, 2007)

3.2 แบบจำลองรองเท้า (The last)

แบบจำลองรองเท้าเป็นโครงร่างแบบ 3 มิติของรองเท้าที่ผลิต ที่ได้รับการพิจารณาจากผู้ผลิตจำนวนมากให้เป็นต้นแบบสำหรับการผลิตและพัฒนารองเท้า (รูปที่ 2-38) รูปร่างของเท้าอาจแปรผันไปตามกิจกรรมกีฬา และเป็นประเด็นหลักในการพัฒนาแบบจำลองรองเท้า รูปร่างของช่องด้านหน้าของรองเท้า (Toe box) เส้นรอบวงบริเวณหลังเท้า (Instep girth) และโค้งของเท้า (Foot curvature) ได้รับการกำหนดโดยแบบจำลองรองเท้า ความแตกต่างของแบบจำลองรองเท้าที่ใหญ่ที่สุดเกิดขึ้นบริเวณเส้นรอบวงโคนนิ้วเท้า หรือส่วนกว้างที่สุดของหน้าเท้า และความกว้างของส้นเท้า (Porter & Schon, 2007)



รูปที่ 2-38 แบบจำลองรองเท้ากีฬา (Reyatt, 1992)

3.2.1 แบบจำลองรองเท้าแบบตรง และแบบโค้ง (Straight and curved lasts)

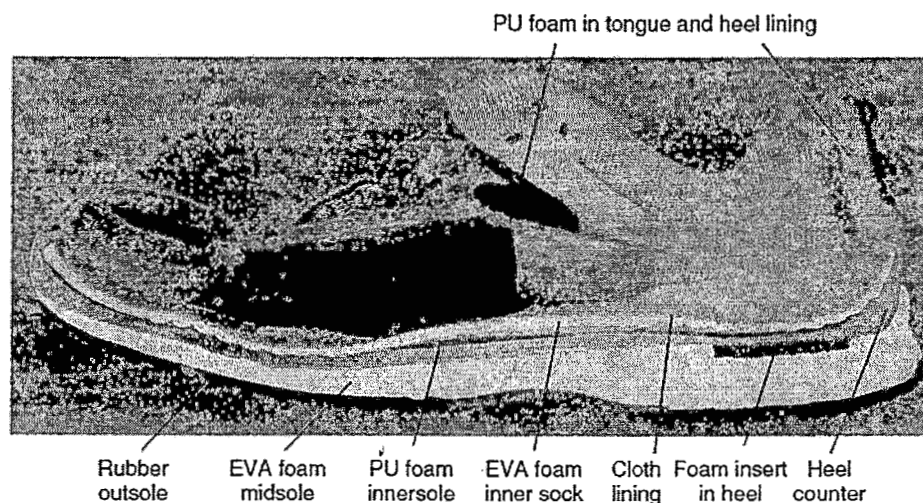
รองเท้าส่วนใหญ่มักจะโค้งเล็กน้อย ดังนั้น บริษัทผู้ผลิตรองเท้าก็หาส่วนใหญ่จึงใช้แบบจำลองรองเท้าแบบโค้งประมาณ 7 องศา ยิ่งโค้งมากเท่าไร จะทำให้เท้าเคลื่อนไหวได้มากขึ้นเท่านั้น ซึ่งส่งผลดีต่อกลุ่มที่ลงน้ำหนักปกติที่ค่อนข้างไปทางด้านนอกของฝ่าเท้า (Underpronator) ในขณะที่รองเท้าแบบตรงนั้น ยิ่งตรงแบนราบเท่าไร ยิ่งทำให้สามารถเสริมอุปกรณ์ทางการแพทย์ได้มากขึ้น สามารถช่วยควบคุมการเคลื่อนไหวในกลุ่มที่ลงน้ำหนักค่อนข้างมาทางด้านในของฝ่าเท้า (Overpronator) ได้ดียิ่งขึ้น

3.2.2 แบบจำลองรองเท้าแบบผสม

แบบจำลองรองเท้าแบบผสม หมายถึงแบบจำลองรองเท้าแบบใดๆก็ตามที่แตกต่างไปจากแบบจำลองรองเท้าตามสัดส่วนแบบมาตรฐานไปสู่แบบจำลองรองเท้าที่ได้รับการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับความต้องการของการเคลื่อนไหว

3.3 องค์ประกอบของวัสดุในรองเท้า

มวลของรองเท้ามีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในการวิ่ง เนื่องจากมวลที่เพิ่มเติมเข้ามา ส่งผลต่อการใช้พลังงานของนักกีฬา โดยมากนักกีฬามักใช้น้ำหนักใช้รองเท้ากีฬามีน้ำหนักเบา ประมาณ 1 กิโลกรัม สำหรับการแข่งขัน แต่ใช้รองเท้าที่มีน้ำหนักมากและทนทานมากกว่าสำหรับการฝึก จากรูปที่ 2-39 แสดงถึงส่วนประกอบภายในรองเท้า ดังนี้ ยางพื้นชั้นนอกของรองเท้า (Rubber outsole) โฟมพื้นรองเท้าชั้นกลาง (Foam midsole) โฟมพื้นรองเท้าชั้นในพร้อมผ้าหุ้ม (Foam innersole with cloth cover) ส่วนรองรับส้นเท้า (Heel counter) และตัวรองเท้าที่ทำด้วยผ้าหรือวัสดุอื่น



รูปที่ 2-39 ส่วนต่างๆ ภายในรองเท้ากีฬา (Mill, 2007)

3.3.1 วัสดุสำหรับส่วนบนของรองเท้า (Upper materials)

วัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตส่วนบนของรองเท้ามีอยู่หลากหลายประเภท ยกตัวอย่างเช่น หนัง ฟอก ยาง พลาสติกขึ้นรูป ไนลอน ตาข่ายไนลอน โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride; PVC) ผ้าใยรีเทนเค ลีอบ และผ้าใบ ในการผลิตส่วนบนของรองเท้า แต่ที่นิยมใช้ในการผลิตรองเท้ากีฬา มักทำจากไนลอน ตาข่าย ไนลอน หนังฟอก หนังนํ้าที่มาจากหนังสัตว์ ผ้าใบ และวัสดุสังเคราะห์อื่นๆ เช่น Kangoran

3.3.2 วัสดุสำหรับพื้นรองเท้า (Sole materials)

ยางเป็นวัสดุที่นิยมในการใช้ทำพื้นรองเท้ามากที่สุด เนื่องจากความทนทาน ความ อเนกประสงค์ และประสิทธิภาพของมันเอง ซึ่งมักอยู่ในรูปของยางพิมพ์บีบอัดสูง (Highly compressed molded form) หรือยางไมโครเซลลูลาร์เป่า (Blown microcellular form) ยางคาร์บอน และยาง Styrene-butadiene เป็นยาง 2 ประเภทที่นิยมใช้ใรองเท้ากีฬามากที่สุด นิยมใช้ทำพื้นรองเท้าสำหรับวิ่ง ซึ่งยาง คาร์บอนสีดำแข็งที่สุด ส่วนยาง Styrene-butadiene ก็แข็ง และนิยมใช้ใรองเท้าเทนนิส และบาสเกตบอล (Porter & Schon, 2007)

1. ยางไมโครเซลลูลาร์ (Microcellular rubber; MCR) เป็นส่วนประกอบของยาง ธรรมชาติกับสารสังเคราะห์ บรรจุสารฟูในรูปผงที่สลายตัวระหว่างกระบวนการวัลคาไนเซชัน (Vulcanization) เป็นโครงสร้างเซลลูลาร์ ยางไมโครเซลลูลาร์มักใช้ในการทำ Midsoles แต่รองเท้าบางประเภทสามารถใช้ยาง ประเภทนี้เป็นพื้นยางด้านล่างของรองเท้า (Outsole) ได้

2. เอทิลีนไวนิลอะซิเตท (Ethyl vinyl acetate; EVA) ประกอบด้วยสารเอทิลีน สารไวนิลอะซิเตท และสารฟูในรูปผงที่สลายตัวระหว่างกระบวนการวัลคาไนเซชันไปอยู่ในรูปของโครงสร้าง เซลลูลาร์ มีน้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่นและโค้งงอได้ดี มีความหนาแน่น ขึ้นรูปได้ง่าย มีความคงทนต่ออุณหภูมิ และแรงกระแทกได้ดี นิยมใช้เป็นวัสดุในการผลิตรองเท้าสำหรับวิ่งคุณภาพดี มักพบในรูปของยางแผ่นสำเร็จรูป หรือยางบีบอัดขึ้นรูป

3. โพลียูรีเทน (Polyurethane; PU) เป็นโพลีเอสเตอร์เหลวที่สามารถขึ้นรูปเป็น โครงสร้างเซลลูลาร์ โพลียูรีเทนเป็นวัสดุอเนกประสงค์ สามารถใช้ทำ Midsoles และส้นรองเท้าได้ ด้วยความ ทนทาน และน้ำหนักเบา ทำให้สามารถใช้ทำพื้นยางด้านล่างของรองเท้าได้อีกด้วย

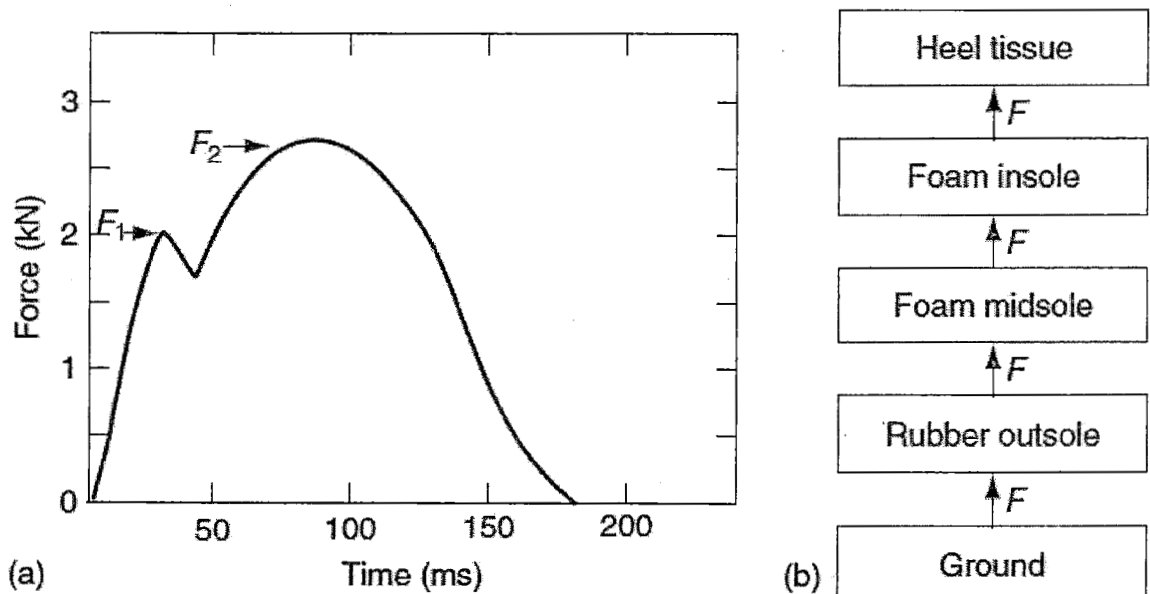
4. ไฮเทรล (Hytrel) เป็นยางโพลีเอสเตอร์ที่พัฒนาโดยบริษัท DuPont (E.I. duPont de Nemours and Company, Wilmington, DE).

5. ไนลอน (Nylon) เป็นเรซินโพลีเอสเตอร์ที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำเป็นพื้นแข็ง ด้านล่างของรองเท้าสำหรับติดหมุดรองเท้า ระดับความแข็งของไนลอนขึ้นอยู่กับจำนวนของอะตอมคาร์บอนใน โมเลกุลไนลอน ซึ่งแบ่งระดับความแข็งตามความแข็งมากที่สุดไปย้งน้อยที่สุด; ไนลอน 6, 11 และ 12

6. หนังฟอก ไม่ว่าจะเป็นหนังทอสัตว์ หรือหนังยาบถูกใช้ในการผลิตรองเท้ากีฬา บางประเภท

องค์ประกอบภายในของรองเท้ามีหน้าที่หลักในการช่วยรองรับแรงกระแทก ซึ่งขึ้นอยู่กับวัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้าส่วนกลาง มักผลิตมาจากโพลีเอทิลีน/ไวนิล อะซิเตท (Ethylene/Vinyl acetate; EVA) แต่รองเท้าบางยี่ห้อ บางรุ่นอาจใช้วัสดุประเภทอื่นทดแทน เช่น โพลียูรีเทน (Polyurethane; PU) แคปซูลอากาศ (Air capsule) เจล พลาสติกหล่อเป็นรูปร่าง หรือสปริงยางโพลียูรีเทน เป็นต้น ไวนิล อะซิเตท (VA) เป็นส่วนผสมของเอทิลีนโมโนเมอร์ในลำดับของโคโพลิเมอร์ลดผลึก โดยปกติส่วนประกอบของ VA 18% จะลดผลึกของโคโพลิเมอร์ EVA ลงประมาณ 20% ดังนั้นค่า Young's modulus ของโพลิเมอร์จึงมีค่าต่ำมาก ความทนทานของโฟมนี้จึงไม่มากเท่ากับยางแข็ง แต่มีคุณสมบัติในการยืดเกาะสูง แรงกระแทก หรือน้ำหนักที่ตกลงบนพื้นรองเท้าส่วนกลาง ประกอบไปด้วย

1. แรงกระแทกหรือแรงกดเฉพาะที่จากส้นเท้า หัวกระดูกเมตาทาลาซาล และนิ้วหัวแม่เท้า ซึ่งพื้นรองเท้าส่วนกลางจะดูดซับแรงกระแทกจากส่วนต่างๆ เหล่านี้
2. แรงหักงอระหว่างที่เกิดการเคลื่อนไหวของเท้า มีงานศึกษาวิจัย และทำแผนที่ของการกระจายของแรงกดบนพื้นรองเท้าชั้นกลาง แสดงถึงแรงกดสูงสุดถึง 400 กิโลปาสกาล (kPa) ที่ส่วนส้นเท้า (Shorten, 1993) Hennig และ Milani (1995) ได้ทดสอบรองเท้า 20 ชนิดในนักกีฬาวิ่งมาราธอนที่ความเร็ว 3.3 เมตรต่อวินาที วัดแรงกดได้สูงถึง 500 กิโลปาสกาล (kPa)



รูปที่ 2-40 a) กราฟแสดงค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นต่อระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่ง และ b) ชุดของแรงกระทำต่อส้นเท้าและรองเท้าตามลำดับเมื่อเท้าสัมผัสพื้น (Mill, 2007)

3.3.3 อุปกรณ์เพิ่มเติมอื่นๆ

3.3.3.1 Air soles

ได้รับการแนะนำให้รู้จักในปี 1979 โดยไนกี้ แนวคิดนี้ใช้การบรรจุแคปซูลอากาศเข้าไปใน Midsole เพื่อเพิ่มการรับแรงกระแทก สามารถใช้ได้ทั้งอากาศ หรือฟรียอนก็ได้ ขึ้นอยู่กับแบบจำลอง

แคปซูลอากาศอาจอยู่ในส่วนส้นเท้า ส่วนหน้าของรองเท้า หรือทั้ง 2 ส่วน รายงานฉบับแรกๆบันทึกไว้ว่า ถึงแม้ว่าระบบอากาศจะสามารถดูดซับแรงกระแทกได้เป็นอย่างดี และส่งพลังงานคืนกลับ แต่ความมั่นคงยังอยู่ในระดับต่ำ (Clarke, Frederick, & Hamill, 1983) ความมั่นคงเป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งของกีฬา หมายถึงความสามารถของรองเท้าที่จะต้านการเคลื่อนไหวเกินขนาด หรือการเคลื่อนไหวที่ไม่ต้องการของเท้า และข้อเท้าได้ รองเท้าที่มี Midsole ซึ่งสามารถรับการกระแทกได้ดี และนุ่ม จะปล่อยให้เท้าและข้อเท้าเกิดการเคลื่อนไหวได้มากกว่ารองเท้าที่แข็งกว่าอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ การออกแบบไม่ดียังช่วยเสริมให้เกิดความไม่มั่นคงเพิ่มขึ้นได้อีกด้วย การออกแบบใหม่ๆกล่าวถึงปัญหาความมั่นคง ระบบอากาศทนต่อการบดอัดได้มากกว่า EVA และโพลียูรีเทน หรือวัสดุอื่นๆที่ใช้ในการผลิต Midsole จึงเชื่อว่าจะมีความทนทานมากกว่าด้วยซ้ำ

3.3.3.2 Energy return

การกักตัวของวัสดุที่ใช้ในการผลิต Midsole จะทำให้เกิดพลังงานความเค้นจำนวนน้อยที่จะเก็บสะสมในองค์ประกอบอีลาสติกของ Midsole ในทางทฤษฎี เมื่อน้ำหนักถูกยกออกไป องค์ประกอบอีลาสติกจะคืนตัวกลับสู่สภาพเดิม และพลังงานที่สะสมไว้จะถูกคืนกลับสู่เท้า นักกีฬา จากการคืนพลังงานกลับของรองเท้าเพิ่มขึ้นนี้ สามารถลดอัตราการใช้ออกซิเจน และช่วยเพิ่มสมรรถภาพได้ด้วย ซึ่งยังมีหลักฐานรองรับทฤษฎีนี้เพียงเล็กน้อย นอกจากนี้ โค้งของฝ่าเท้ามนุษย์ก็มีลักษณะการสะสมพลังงานคล้ายคลึงกัน จึงทำให้สามารถส่งคืนพลังงานกลับได้ด้วย (Kerr et al., 1987; Alexander & Bennett, 1989)

3.3.3.3 The “pumps”

The pumps เป็นการใช้วัสดุบุผิวพองกับลิ้นรองเท้า และส่วนอื่นๆของรองเท้า ซึ่งบีบลมเข้าไปด้วยอุปกรณ์ภายในส่วนบนของรองเท้า ทำให้แน่นขึ้น พอดีขึ้น (Porter & Schon, 2007)

3.3.3.4 Replaceable plug systems

Heel plug มักพบในพื้นที่รองเท้าที่มีหลายความหนาแน่น (multidensity outsoles) บริเวณที่ยางมีความหนาแน่นที่สุดจะอยู่บริเวณที่มีการสึกหรอสูงของส้นเท้า Adidas ออกแบบระบบ rear-foot plug ที่มีความแข็ง 3 ระดับ และสามารถถอดเปลี่ยนโดยการสอดเข้าไปที่ส้นเท้าได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับแรงกระแทก ส่วน Brooks ทำการตลาดด้วยการเน้นระบบการควบคุมการคว่ำของเท้า โดยการควบคุมการเคลื่อนไหวผ่านทางเสริม heel plug ที่มีความแข็งแตกต่างกันไปทางด้านข้างในของส้นเท้า (Porter & Schon, 2007)

3.3.3.5 อุปกรณ์ควบคุมการคว่ำของเท้า (Pronation control devices)

การควบคุมการคว่ำของเท้าในนักวิ่ง และนักกีฬาประเภทอื่นๆเป็นสิ่งที่ผู้ผลิตในอุตสาหกรรมรองเท้าให้ความสำคัญมากที่สุด คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการผลิตเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวจะประกอบด้วย 1. วัสดุที่ใช้ผลิตจะมีความหนาแน่นสูงเพื่อใส่เข้าไปที่บริเวณด้านข้างในของ Midsole และ/หรือ

ส้นเท้า เพื่อป้องกันการคว่ำของเท้า และ 2. ส่วนประกอบด้านในที่เพิ่มเข้ามาข้างในหรือข้างนอกของรองเท้า เพื่อจำกัดการคว่ำของเท้า ในสมัยก่อน อุปกรณ์ควบคุมการคว่ำของเท้าส่วนใหญ่แล้วมุ่งเน้นไปยังส่วนของส้นเท้า แต่ในปัจจุบันเน้นไปยังการควบคุมทั้งเท้ามากขึ้น (Porter & Schon, 2007)

3.4 ประเภทของรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่ง

ช่วงทศวรรษที่ผ่านมารองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งได้รับการพัฒนาทั้งรูปแบบ และประสิทธิภาพที่สอดคล้องกับการใช้งาน ในปัจจุบันนี้มีการแบ่งประเภทของรองเท้าสำหรับวิ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลักคือ รองเท้าสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหว (Motion control) รองเท้าสำหรับรับแรงกระแทก (Cushion Trainers) และรองเท้าสำหรับเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรง (Stability shoes) (Williams, McClay, Hamill, & Buchanan, 2001; Butler, Hamill, & Davis, 2007)

3.4.1 รองเท้าสำหรับควบคุมการเคลื่อนไหว

เป็นรองเท้าที่ได้รับการออกแบบ และพัฒนามาเพื่อจำกัดการเคลื่อนไหวของส่วนด้านหลังของเท้าที่เกิดขึ้นในลักษณะคว่ำตัวลงมากเกินไป (Overpronation) หรือเคลื่อนไหวเกินพิสัยปกติ โครงสร้างของรองเท้าจึงมีลักษณะค่อนข้างแข็ง และรองรับโค้งของฝ่าเท้าด้านในสูงสุด โดยปกติวัสดุที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าชั้นกลางจึงเป็นโฟลียูรีเทน หรือวัสดุที่มีความหนาแน่นค่อนข้างสูง รองเท้าประเภทนี้จึงค่อนข้างมีน้ำหนักมาก ทนทานต่อการใช้งานมาก และมีราคาค่อนข้างสูงด้วย ซึ่งมักเกิดขึ้นในนักกีฬากลุ่มที่มีโค้งของฝ่าเท้าค่อนข้างแบนราบ (Williams, McClay, Hamill, & Buchanan, 2001; Butler, Hamill, & Davis, 2007)

3.4.2 รองเท้าสำหรับรับแรงกระแทก

เป็นรองเท้าที่ได้รับการพัฒนามาเพื่อส่งผ่านและกระจายแรงกระแทกที่เกิดขึ้นระหว่างลงน้ำหนักไม่ให้มากเกินไป มีการรองรับโค้งของฝ่าเท้าด้านในน้อยที่สุด พื้นชั้นกลางของรองเท้ามีลักษณะค่อนข้างนุ่ม และมีความยืดหยุ่นสูง วัสดุที่ใช้ในการผลิตมักเป็น EVA แผ่นเจลซิลิโคน หรือวัสดุที่มีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทกได้ดี ดังนั้นน้ำหนักของรองเท้าจึงค่อนข้างเบาถึงหนักปานกลาง นิยมใช้ในนักกีฬากลุ่มที่มีโค้งของฝ่าเท้าค่อนข้างสูง (Williams, McClay, Hamill, & Buchanan, 2001; Butler, Hamill, & Davis, 2007)

3.4.3 รองเท้าสำหรับเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรง

เป็นรองเท้าที่ได้รับการออกแบบมาสำหรับนักกีฬา หรือบุคคลที่มีโครงสร้างและกลไกการเคลื่อนไหวของเท้าอยู่ในเกณฑ์ปกติ (James, Bates, & Ostering, 1978; Milgrom, 1985) รูปแบบของรองเท้าเกิดจากการผสมผสานระหว่างรองเท้า 2 แบบแรก คือสามารถรับแรงกระแทกได้ดี และมีการรองรับโค้งของเท้าทางด้านในด้วย รองเท้าประเภทนี้จึงช่วยเสริมสร้างความมั่นคงแข็งแรงของส่วนด้านหลังของเท้า และเอื้ออำนวยให้ส่วนด้านหน้าของเท้าสามารถเคลื่อนไหวได้ดี (Butler, Hamill, & Davis, 2007)

3.5 ข้อดีและข้อด้อยของการใส่รองเท้ากีฬา

วัตถุประสงค์ของรองเท้าประกอบด้วย (อรวรีย์ อิงคเตชะ และศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2549)

1. เพื่อความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บ
2. เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวของเท้า
3. เพื่อเพิ่มความสบายในการสวมใส่

3.5.1 ข้อดี

เหตุผลที่กล่าวถึงข้อดี หรือประโยชน์ของการใช้รองเท้ากีฬาระหว่างการเล่นกีฬาและการแข่งขันมากมายดังต่อไปนี้

1. การป้องกันพื้นผิวได้ฝ่าเท้า รองเท้าทุกประเภทรวมถึงรองเท้ากีฬาจะป้องกันฝ่าเท้าไว้ไม่ให้สัมผัสกับพื้นโดยตรง ช่วยลดการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นจากการสัมผัสพื้นที่ร้อน แห้ง หรือขรุขระจนเกินไป
2. การป้องกันการดิ่ง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างพื้นผิวด้านนอกของรองเท้า (Outsole) กับพื้นสนามจะเป็นสิ่งที่กำหนดปริมาณแรงดิ่งที่เกิดขึ้นกับรองเท้า ดังนั้นพื้นผิวด้านนอกของรองเท้าหรือพื้นรองเท้า จึงจำเป็นต้องผลิตจากวัสดุที่แตกต่างกันออกไปเพื่อให้เหมาะสมกับผิวของสนามที่มีความแตกต่างกันออกไปตามแต่ละประเภทกีฬา ทำให้ปริมาณแรงดิ่งเหมาะสมกับการเคลื่อนไหวที่จะเกิดขึ้น และมีความปลอดภัยในขณะที่เคลื่อนไหว เช่น รองเท้าที่ใช้วิ่งบนพื้นหญ้าเปียกควรมีพื้นรองเท้าที่แตกต่างไปจากรองเท้าที่ใช้วิ่งบนพื้นยางอัลฟัสต์หรือพื้นปูน
3. การควบคุมการเคลื่อนไหว รองเท้ากีฬามักได้รับการออกแบบมาสำหรับการวิ่งและกิจกรรมที่ต้องเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ เพื่อให้นักกีฬาสามารถควบคุมการเคลื่อนไหวของเท้าส่วนกลางและส่วนหลังได้ โดยเฉพาะการเคลื่อนไหวของเท้าในลักษณะเอียงส้นเท้าออกด้านนอก (Foot pronation) ด้วยการยึดตรึงส้นเท้า และรองรับส่วนกลางเท้าให้มั่นคงขึ้น การควบคุมการเคลื่อนไหวในลักษณะดังกล่าวนี้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในการผลิตแผ่นรองพื้นรองเท้า (Midsole) และความสบายในการสวมใส่นอกจากนี้การเคลื่อนไหวออกไปทางด้านข้างสามารถส่งผลให้เกิดความไม่มั่นคงของเท้าส่วนหน้าได้ ดังนั้นส่วนหน้าของรองเท้ากีฬาจึงเป็นอีกส่วนหนึ่งที่จำเป็นต้องคำนึงถึงเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวด้วย ถ้ามีการเคลื่อนไหวออกด้านข้างมากขึ้น วัสดุที่ใช้ผลิตส่วนหน้าของรองเท้าจะยึดตัวออก ก่อให้เกิดแรงเฉือนและแรงกดจากด้านข้างทั้งด้านในและด้านนอก (medial and lateral) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย
4. การดูดซับแรงกระแทกระหว่างการเคลื่อนไหว แรงกระแทกจะกระทำต่อร่างกายผ่านจากเท้าขึ้นมาในระหว่างการเดิน การวิ่ง และกิจกรรมการเคลื่อนไหวอื่นๆ การดูดซับแรงกระแทกเป็นคุณสมบัติที่สำคัญคุณสมบัติสำคัญที่ช่วยให้ปริมาณแรงกระแทกต่างๆ ที่กระทำต่อร่างกายลดลง วัสดุที่ใช้ผลิตแผ่นรองพื้นรองเท้าควรมีคุณสมบัติในการคืนตัวสู่สภาพเดิมก่อนได้รับแรงกระแทก หรือแรงกดได้เร็วและสูญเสียพลังงานน้อย

3.5.2 ข้อด้อย

ในส่วนข้อด้อยที่ปรากฏอยู่ในงานวิจัยหรือบทความวิชาการต่างๆ มีดังนี้

1. ลดการรับรู้ความรู้สึก

Robbins & Gouw (1991) รายงานว่า แผ่นรองพื้นรองเท้าก็หาสามารถดูดซับแรงกระแทก จึงทำให้นักกีฬาประเมินแรงกระแทกต่ำกว่าความเป็นจริง ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่จะพัฒนาไปสู่การบาดเจ็บจากการวิ่งได้ ดังนั้นจึงควรทำความเข้าใจเกี่ยวกับศักยภาพในการรับรู้สีกปกติ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เกี่ยวกับแรงกระแทก ที่สามารถหล่อให้นักกีฬาเล่นกีฬาให้หนักขึ้น และนำไปสู่การบาดเจ็บจากการใช้งานมากเกินไปได้

2. รองเท้าก็หาามีราคาสูง

ในขณะที่เทคโนโลยีได้รับการพัฒนาเพื่อส่งเสริมให้สามารถผลิตรองเท้ากีฬาที่ลดแรงกระแทก และควบคุมการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น กลับทำให้ราคาปรับสูงขึ้นไปด้วย คำถามที่มักพบบ่อยจากผู้บริโภคคือ พวกเขาควรจะเลือกรองเท้ากีฬาจากคุณสมบัติพิเศษ หรือเทคโนโลยีเฉพาะแบบใด คำแนะนำจากผู้รู้จึงไม่ควรเฉพาะเจาะจงไปยังรองเท้าแบรนด์ใดแบรนด์หนึ่ง แต่ควรให้ความสำคัญกับความเหมาะสมสำหรับการใช้งาน และการเลือกคุณลักษณะของรองเท้าที่จะส่งเสริมสมรรถภาพ หรือช่วยจัดการกับเท้าที่ผิดปกติ

3. ความเสี่ยงต่อการเกิดการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นได้จากแรงเสียดทานกับพื้นสนาม

การออกแบบพื้นรองเท้าชั้นนอกสามารถส่งผลต่อแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นรองเท้า และพื้นสนามได้ ปัจจัยหลักที่เป็นตัวกำหนดสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานระหว่างพื้นรองเท้า และพื้นสนามคือ สลวดลายของยางบนพื้นรองเท้าชั้นนอก ชนิดของวัสดุที่ผลิตพื้นผิวของสนาม และน้ำหนักของนักกีฬาที่กดลงบนพื้น (Nigg & Segesser, 1992)

ดังนั้น คำแนะนำในการเลือกซื้อรองเท้าต่างๆ วางอยู่บนพื้นฐานของความรู้เรื่องการวิ่งที่สืบทอดกันมา และการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็วของรองเท้ารุ่นต่างๆ ที่ถูกขับเคลื่อนโดยอุตสาหกรรมรองเท้า ส่วนงานวิจัยที่ศึกษาเพื่อพิสูจน์ข้ออ้างของรองเท้ากีฬาเหล่านี้มีจำนวนน้อย และค่อนข้างมีข้อจำกัด จึงทำให้ความรู้พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับรองเท้ากีฬาถูกจำกัดตามไปด้วย ในปัจจุบันนี้ พัฒนาการด้านการออกแบบรองเท้ากีหายังคงดำเนินต่อไปโดยผู้ผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค รวมถึงมุ่งเน้นไปยังการออกแบบรองเท้าแบบ minimalist หรือแบบเท้าเปล่าด้วย บรรดาแพทย์ หรือผู้เชี่ยวชาญจะได้ผลการแนะนำประเภทของรองเท้าโดยอาศัยพื้นฐานมาจากการผลิต และคุณลักษณะเฉพาะของการออกแบบรองเท้าแต่ละรุ่น พื้นฐานของความเสียหายจากการบาดเจ็บจากการใช้งานเป็นระยะเวลานานๆ เกี่ยวข้องกับความสมดุลระหว่างปัจจัยภายใน และภายนอก รองเท้ากีฬาสำหรับการวิ่งเป็นปัจจัยภายนอกที่ได้รับการประยุกต์ผ่านการออกแบบ และวิจัย ดังนั้น การเลือกรองเท้าให้เหมาะสมกับแต่ละบุคคลจึงต้องคำนึงถึงปัจจัยภายในของนักกีฬา เช่น แนวการลงน้ำหนัก ความมั่นคงของข้อต่อ ความอ่อนตัวของข้อต่อและเนื้อเยื่อรอบข้อต่อ และความสมดุลของความแข็งแรงกล้ามเนื้อ เป็นต้น เพื่อกำหนดผลลัพธ์ในการใช้งานที่ดีที่สุด (O'Connor et al., 2001) นอกจากขาดข้อมูลสรุปเกี่ยวกับการจับคู่รองเท้ากีฬากับนักกีฬาให้ได้เหมาะสมที่สุดแล้ว การออกแบบรองเท้ากีฬายังมีผลกระทบอย่างชัดเจนด้วย กลศาสตร์ของการวิ่งสามารถส่งอิทธิพลต่อนักกีฬาได้จากความแข็ง หรือคุณลักษณะของ Midsole ดังแสดงในผลการวิจัยที่ให้ผู้เข้าร่วมงานวิจัยวิ่งด้วยรองเท้าที่มีความแข็ง หรือ

คุณลักษณะของ Midsole ที่แตกต่างกันออกไป (Sharkey et al., 1995; Milgrom et al., 2001; Nigg et al., 2003; Nigg et al., 2003; Hardin et al., 2004; Roy & Stefanyshyn, 2006) การเลือกรองเท้าที่ไม่เหมาะสมกับเท้ายังสามารถทำให้เกิดความบวมหรือผิพอกกับรองเท้าได้ ในขณะที่รองเท้าในอุดมคติสามารถช่วยป้องกัน หรือลดระยะเวลาการรักษา เนื่องจากช่วยลดแรงกด หรือความเครียดที่เกิดกับเนื้อเยื่อ (tissue stress) ที่เกิดความบวมหรือผิพอกได้ (Barnes & Smith, 1994; Hennig & Milani, 2000; Roberts & Gordon, 2001; Wakeling et al., 2002; Nigg et al., 2003) วัตถุประสงค์ของส่วนเชื่อมต่อตรงกลางระหว่างเท้าและรองเท้านั้นมีเพื่อลดทอนแรงกระแทก และเพิ่มความมั่นคงของการเคลื่อนไหวในขณะใช้งานตลอดช่วงของการลงน้ำหนัก และเพื่อเตรียมรองรับแรงขับเคลื่อนไปข้างหน้าในขณะเคลื่อนไหว (Barnes & Smith, 1994)

4. แนวคิดการวิ่งเท้าเปล่า (Barefoot/Minimalist running)

การดำเนินชีวิตอย่างเรียบง่าย (Minimalist lifestyle) เป็นวิถีชีวิตที่คนในสมัยปัจจุบัน เปรียกหาและใฝ่ฝันที่จะมี เริ่มได้รับความนิยมมากขึ้น โดยเฉพาะในทวีปตะวันตก เป็นการดำเนินชีวิตที่หลีกเลี่ยงความโกลาหล วุ่นวาย สลับซับซ้อน ขึ้นอยู่กับทุนนิยม และระบบเศรษฐกิจที่ผันผวน ดึงตัวเองออกมาหวนกลับมาใช้ชีวิตในวิถีเรียบง่าย เพื่อเปลี่ยนแปลงวิถีชีวิตไปสู่การใช้ชีวิตแบบองค์รวม (Holistic) มากขึ้น มีความสอดคล้องกับสภาพแวดล้อมรอบด้าน จุดเริ่มแรกของแนวความคิดนี้คือ การดำเนินชีวิตอย่างอ่อนน้อมถ่อมตนให้เข้ากับสภาพแวดล้อม ซึ่งเชื่อว่า ถ้าสิ่งต่างๆที่ยังสมบูรณ์แบบและสลับซับซ้อนแล้วจะต้องเป็นสิ่งที่ดีกว่าแล้ว ความเรียบง่ายจะเป็นการค้นหาคำถามที่ยุ่งใหญ่ และเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า

มีความเชื่อว่า รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า (Barefoot/Minimalist running shoes) ไม่เพียงแต่ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพการวิ่งของนักวิ่งเท่านั้น ยังช่วยลดอาการบาดเจ็บจากการวิ่งได้เป็นอย่างดี จากการปรับรูปแบบการวิ่งเปลี่ยนจากการลงสู่พื้นด้วยส้นเท้า เป็นลงสู่พื้นเต็มเท้า หรือด้วยปลายเท้าแทน รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่านี้จะช่วยลดแรงกระแทกที่เข้าสู่ระยะข้อเท้า และถูกดูดซับไปตามข้อเท้า ข้อเข่าและข้อสะโพก ขณะที่ยังคงช่วยป้องกันเท้าจากอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากสิ่งแวดล้อมภายนอกได้ งานวิจัยในระยะหลังมุ่งเน้นไปยังความแตกต่างระหว่างการวิ่งเท้าเปล่ากับการวิ่งใส่รองเท้ากีฬา การวิ่งเท้าเปล่าส่งผลให้ข้อเท้าถึงลงในขณะที่เท้าสัมผัสพื้นมากกว่า ลดแรงกระแทกจากพื้น และลดอัตราการลงน้ำหนัก (Kerrigan et al., 2009; Squadrone & Gallozzi, 2009; Leiberan et al., 2010) การวิ่งเท้าเปล่าส่งผลให้ระยะก้าวสั้นลง และเพิ่มความถี่ของการก้าว เมื่อเปรียบเทียบกับวิ่งใส่รองเท้ากีฬา (Kerrigan et al., 2009; Squadrone & Gallozzi, 2009) การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลต่อทอร์กของข้อต่อต่างๆ ในระยะข้อเท้า แต่การอภิปรายผลการศึกษายังไม่ระบุชัดเจนว่า การวิ่งเท้าเปล่าดีกว่าการวิ่งใส่รองเท้า แต่การที่รองเท้ากีฬาทำให้นักกีฬาปรับเปลี่ยนรูปแบบของการวิ่งที่แตกต่างไปจากการวิ่งเท้าเปล่า และเคลื่อนย้ายตำแหน่งกดไปสู่ร่างกายอย่างผิดทิศทาง (Dicharry, 2010) ในระยะหลังจึงมีการเพิ่มประเภทของรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งแบบธรรมชาติ (Natural running shoes) ที่มีคุณลักษณะ Heel-toe drops น้อยที่สุด ประมาณ 0-4 มิลลิเมตร เพื่อให้เท้าสัมผัสพื้นได้ใกล้เคียงกับการวิ่งเท้าเปล่ามากกว่ารูปแบบการวิ่งลงน้ำหนักที่พบเห็นได้เมื่อใส่รองเท้าวิ่งที่มีส้นค่อนข้างหนา

(De Wit et al., 2000; Squadrone & Gallozzi, 2009) ในขณะที่รองเท้ากีฬาในปัจจุบันนั้น ความสูงของส้นเท้าจะสูงเป็น 2 เท่าเมื่อเทียบกับปลายเท้า ซึ่งส่งผลกระทบต่อรูปแบบการวิ่ง และการใช้งานกล้ามเนื้อในรยางค์ขา ส้นเท้าที่ยกสูงขึ้นนั้นจะทำให้ประสาทรับความรู้สึกของข้อต่อ (Proprioception) ทำงานได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ (Sekizawa, 2001)

4.1 ลักษณะของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า

บริษัทผู้ผลิตรองเท้าหลายรายหันมาออกแบบรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งเพื่อเลียนแบบการวิ่งแบบเท้าเปล่า รักษาระดับความยืดหยุ่นที่เหมาะสม และการเดินอย่างเป็นธรรมชาติ ในขณะที่ยังให้การป้องกันในระดับหนึ่ง วัตถุประสงค์ของรองเท้ากีฬาแบบเท้าเปล่านี้เพื่อให้รยางค์ขาได้รับความรู้สึกต่อแรงกระแทกที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนไหว และทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิ่ง ดังมีคุณลักษณะต่อไปนี้ (Richards & Hollowell, 2011; Kaselj, 2012)

4.1.1 ความถูกต้องตามหลักกายวิภาคศาสตร์ (Anatomical correctness)

รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าลดวัสดุที่ช่วยรองรับแรงกระแทกบริเวณโค้งของฝ่าเท้า โดยเฉพาะด้านในให้น้อยลงมาก ทำให้ผู้สวมใส่จำเป็นต้องคอยระมัดระวังแรงกระแทก หรือความมั่นคงในระหว่างที่ลงน้ำหนักในขณะที่วิ่งด้วยตนเอง

4.1.2 ความอิสระต่อการสัมผัสพื้น (Free back to the ground)

พื้นของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า มักผลิตจากวัสดุที่ไม่ส่งผลกระทบต่อการรับความรู้สึกของฝ่าเท้าดังเช่นรองเท้ากีฬาในปัจจุบันที่พื้นรองเท้ามักจะผลิตจากวัสดุที่หนาและหนักกว่า พื้นรองเท้าชั้นนอกยกตัวสูง ทำให้ส้นเท้าสามารถรับความรู้สึกได้เพียงแต่พื้นด้านในของรองเท้าเท่านั้น

4.1.3 Zero drop

“Drop” หมายถึงความแตกต่างระหว่างความสูงที่วัดจากพื้นถึงส้นเท้ากับความสูงที่วัดจากพื้นถึงนิ้วเท้า รองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งทั่วไปจะมีค่า Heel-to-toe drop นี้อยู่ระหว่าง 12-24 มิลลิเมตร ในขณะที่รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่ามีค่าน้อยกว่า 10 มิลลิเมตร

4.1.4 น้ำหนักเบา

เนื่องจากรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่ามีวัตถุประสงค์ให้ผู้สวมใส่ได้รับความรู้สึกต่อการสัมผัสกับพื้น วัสดุที่ใช้จึงมักเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีการเสริม หรือการป้องกันต่าง ๆ น้อยมาก จึงทำให้น้ำหนักของรองเท้าลดลงจากเดิม เพื่อให้เท้าสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระมากขึ้น โดยปกติแล้ว รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าจะมีน้ำหนักน้อยกว่า 15 ออนซ์

4.1.5 ช่องด้านหน้าของเท้ามีขนาดใหญ่ (Large toe box)

ช่องด้านหน้าของรองเท้ามีขนาดที่เหมาะสมกับรูปร่างของเท้าลักษณะต่างๆ เพื่อให้นิ้วเท้าสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระในรองเท้าขณะที่มีการเคลื่อนไหว

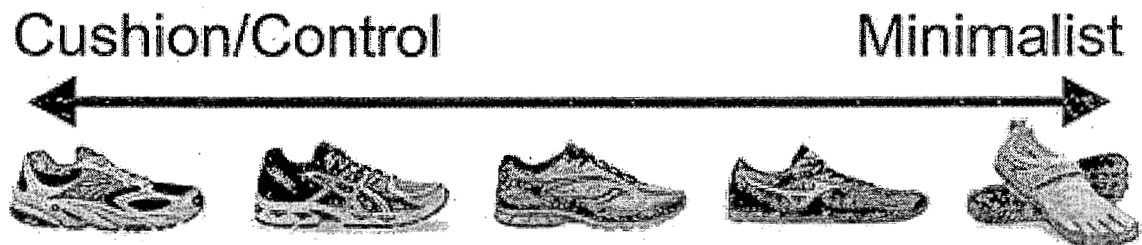
4.1.6 ความอ่อนตัวสูง (Flexibility)

เนื่องจากความต้องการที่จะให้เท้าสามารถเคลื่อนไหวได้อย่างอิสระ วัสดุที่ใช้ผลิตรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า นั้น นอกจากจะมีน้ำหนักเบาแล้ว ยังต้องมีความอ่อนตัวสูงด้วย จึงทำให้สามารถบิดรองเท้าคล้ายกับบิดผ้าได้ (Rotational flexibility) หรือม้วนรองเท้าจากส้นรองเท้าถึงปลายรองเท้าได้ (Longitudinal flexibility)

4.1.7 ลักษณะคล้ายรองเท้าแตะ (Slipper-like)

ส่วนด้านบนของรองเท้าจะต้องไม่รัดแน่นจนเกินไป ควรมีลักษณะหลวมเพียงพอเพื่อให้ง่ายต่อการถอดรองเท้า แต่ไม่หลวมจนกระทั่งหลุดออกไปในขณะวิ่ง และยังคงระบายอากาศได้เป็นอย่างดีด้วย

ดังนั้นเมื่อเปรียบเทียบระหว่างรองเท้าสำหรับวิ่งในปัจจุบัน กับรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า จะพบความแตกต่างกันดังรูปที่ 2-41



รูปที่ 2-41 การเปรียบเทียบรูปลักษณะภายนอกระหว่างรองเท้าสำหรับวิ่งในปัจจุบันกับรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า

4.2 ระดับความแตกต่างของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า

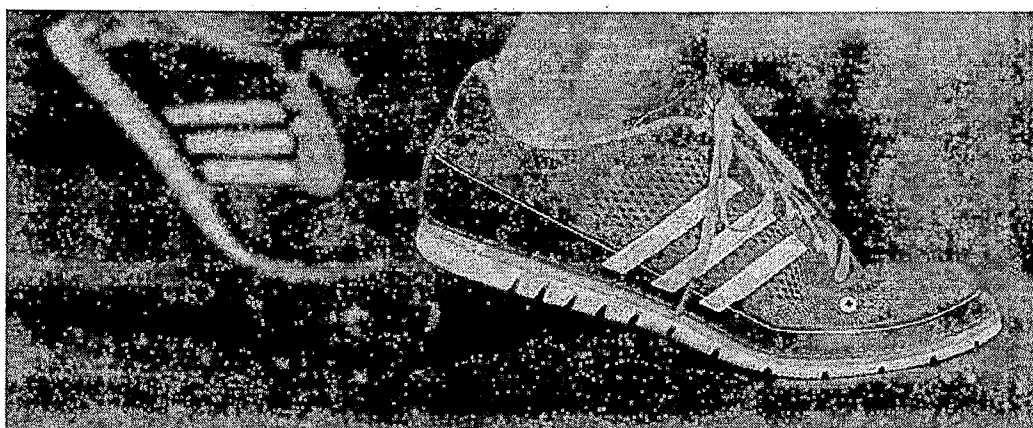
รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าแต่ละแบรนด์มีลักษณะที่ค่อนข้างแตกต่างกันมาก ทั้งรูปลักษณะภายนอก หรือแม้กระทั่งลักษณะเด่นของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่า เช่น ความแตกต่างของ Heel-to-toe drop จึงทำให้สามารถแบ่งระดับของรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าโดยอาศัยความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ออกได้ทั้งสิ้น 3 ระดับ ดังนี้

ระดับที่ 1 ความแตกต่างของ Heel-to-toe drop อยู่ในช่วงระหว่าง 0-3 มิลลิเมตร รองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่านี้มีความอ่อนตัวสูง และให้ความรู้สึกถึงการสัมผัสกับพื้นได้โดยตรง ทำให้ผู้สวมใส่รู้สึกมีอิสระในขณะเคลื่อนไหว ตัวอย่างของรองเท้าระดับนี้ เช่น Vibram FiveFingers (รูปที่ 2-42)



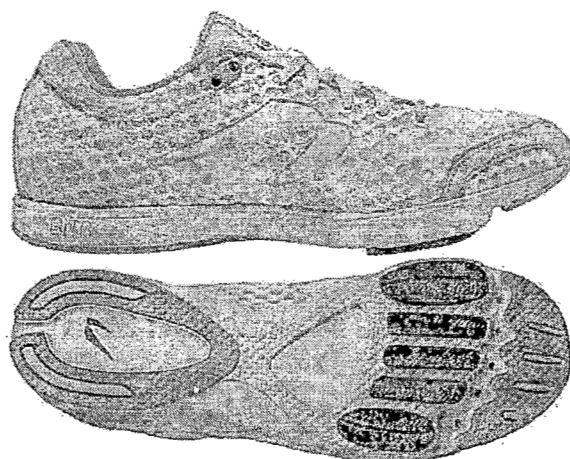
รูปที่ 2-42 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 1 (<http://www.vibramfivefingers.com>)

ระดับที่ 2 ความแตกต่างของ Heel-to-toe drop อยู่ในช่วงระหว่าง 0-3 มิลลิเมตร เช่นเดียวกัน แต่จะมีการเสริมพื้นรองเท้าเพื่อป้องกันการกระแทกมากกว่าระดับที่ 1 ประมาณ 4 มิลลิเมตร และยังคงมีความอ่อนตัว น้ำหนักเบาเช่นเดิม (รูปที่ 2-43)



รูป 2-43 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 2 (<http://www.barefootdaves.com/2011/05/adidas-barefoot-running-shoes.html>)

ระดับที่ 3 โครงสร้างภายนอกคล้ายกับรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งในปัจจุบันมากกว่ารองเท้าระดับอื่นๆ เนื่องจากมีการเสริมพื้นรองเท้าชั้นนอกค่อนข้างหนาถึงประมาณ 26 มิลลิเมตร แต่ความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ประมาณ 3 มิลลิเมตรเท่านั้น ซึ่งจะช่วยให้รูปแบบของการวิ่งไม่เปลี่ยนแปลงไปจากการวิ่งเท้าเปล่า (รูป 2-44)



รูปที่ 2-44 ตัวอย่างรองเท้าสำหรับวิ่งเท้าเปล่าที่มีความแตกต่างของ Heel-to-toe drop ในระดับที่ 3 (<http://www.believeintherun.com/index.php/2011/12/13/newton-running-mv2-running-shoe-review>)

4.3 ประโยชน์ และอันตรายของการวิ่งเท้าเปล่า

นักวิชาการหลายรายเห็นด้วยกับการวิ่งเท้าเปล่า เนื่องจากการใส่รองเท้าก็หาเป็นสาเหตุให้กล้ามเนื้อมัดเล็กในฝ่าเท้าอ่อนแรงลง เอ็นกล้ามเนื้อ เอ็นข้อต่อ และโค้งของเท้าตามธรรมชาติหยุด/ลดการทำหน้าที่ลง ซึ่งเชื่อได้ว่าเป็นผลมาจากอุปกรณ์เสริมต่างๆ ภายในรองเท้า พื้นรองเท้าที่มีความหนาเป็นพิเศษ ทำให้เพิ่มความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของระยางค์ขา แต่นักวิชาการอีกด้านหนึ่งโต้แย้งว่า ตามความเป็นจริงแล้วรองเท้าก็หาที่เหมาะสมจะช่วยแก้ไขปัญหาด้านชีวกลศาสตร์ ช่วยลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ และยังช่วยรักษาอาการปวดเท้าได้อีกด้วย ต่อไปนี้เป็นการรวบรวมประโยชน์ และอันตรายที่อาจเกิดขึ้นจากการวิ่งเท้าเปล่า

4.3.1 ประโยชน์ของการวิ่งเท้าเปล่า

4.3.1.1 ลดแรงปฏิกิริยาจากพื้น

การวิ่งเท้าเปล่าช่วยลดแรงกระแทกได้เมื่อวิ่งด้วยระยะก้าวที่เหมาะสม (Divert, et al., 2005, 2008; Squadrone & Gallozzi, 2009; Leiberman, et al., 2010). นอกจากนี้ ยังมีการปรับเปลี่ยนเพิ่มการทำงานของกล้ามเนื้อมัดเล็กในฝ่าเท้าเป็นผลให้มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น และทำให้โค้งของฝ่าเท้าทางด้านในยกตัวสูงขึ้น สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดีขึ้น (Robbins & Hanna, 1987) อีกทั้งยังมีงานวิจัยพบว่า นักกีฬาสามารถปรับเปลี่ยนรูปแบบการวางเท้าให้วางเต็มเท้ามากยิ่งขึ้นเพื่อลดแรงกระแทกที่จะเข้าสู่สันเท้าโดยตรงในขณะที่วิ่งเท้าเปล่า (De Wit et al., 2000)

4.3.1.2 เพิ่มการอนุรักษ์พลังงานในขณะที่วิ่ง

มีรายงานการศึกษาวิจัยพบว่า การใช้ออกซิเจนระหว่างการวิ่งเพิ่มขึ้นเมื่อสวมรองเท้าก็หาเพิ่มขึ้น รองเท้าก็หา และอุปกรณ์เสริมต่างๆ มีค่าประมาณ 1% ของมวลร่างกายซึ่งเพิ่มการใช้ ออกซิเจน 3.1%โดยประมาณ (Burkett et al., 1985) นอกจากนี้ ยังพบอีกว่า การใช้ออกซิเจนระหว่างการวิ่ง

ด้วยความเร็ว 12 กิโลเมตรต่อชั่วโมงด้วยรองเท้ากีฬาน้ำหนัก 700 กรัม จะเพิ่มขึ้น 4.7% เมื่อเทียบกับการวิ่งเท้าเปล่า (Flaherty, 1994) แต่งานวิจัยบางงานระบุว่า ความแตกต่างในการใช้พลังงานระหว่างใส่ และไม่ใส่รองเท้าไม่มีความแตกต่างกัน (Squadrone & Gallozzi, 2009; Franz, Wierzbinski & Kram, 2012)

4.3.1.3 เพิ่มการรับรู้ความรู้สึกของข้อต่อ

รายงานการวิจัยหลายงานพบตรงกันว่า ความหนาแน่นของวัสดุที่ใช้ในการผลิตรองเท้ากีฬาส่งผลกระทบต่อรับรู้ของระบบประสาทส่วนปลาย (Ganevia & Gurke, 1992; Kurz & Stergiou, 2003) สิ่งขวางกั้นระหว่างฝ่าเท้า และพื้นจะขัดขวางการรับรู้ตำแหน่งของเท้าที่รับผ่านตัวรับสัญญาณประสาทเชิงกลบริเวณผิวหนังใต้ฝ่าเท้าที่ควรสัมผัสกับพื้นโดยตรง (Robbins, et al, 1995) การใช้รองเท้าต่อเนื่องกันในภาวะปัจจุบันจะจำกัดการรับรู้ย้อนกลับสู่สมอง ซึ่งจะลดความสามารถของสมองในการแปลผลความรู้สึก และปรับสภาพการตอบสนองให้เหมาะสมได้ (Shakoor & Block, 2006; Doidge, 2007) ความสามารถด้านการรับรู้ความรู้สึกของข้อต่อที่ได้รับการพัฒนาจากการวิ่งเท้าเปล่า จะนำไปสู่การลดการวางเท้าผิดพลาด และลดการเกิดข้อเท้าแพลงได้ (Robbins, et al, 1995)

4.3.1.4 เพิ่มความแข็งแรงให้กับกล้ามเนื้อ

มีงานวิจัยที่รายงานอุบัติการณ์ของเท้าแบนเพิ่มขึ้นในคนที่ใส่รองเท้าตั้งแต่เด็ก ซึ่งนำไปสู่ข้อสรุปที่ว่า การใส่รองเท้าตั้งแต่ยังเด็กอาจยับยั้ง หรือชะลอการพัฒนาโค้งของเท้าได้ (Rao & Joseph, 1992) การฝึกการเคลื่อนไหวด้วยเท้าเปล่าจะช่วยให้การพัฒนามกล้ามเนื้อภายในฝ่าเท้า ซึ่งมีการวิจัยรายงานถึงผลการฟื้นฟูกล้ามเนื้อในฝ่าเท้าเมื่อใส่รองเท้าที่มีการรองรับน้อยที่สุด เปรียบเทียบกับรองเท้ากีฬาปกติ (Ryan et al., 2009)

4.3.1.5 ลดความเสี่ยงของการผิดรูปของเท้า

อุบัติการณ์การเกิด Hallux valgus และเท้าแบนมีรายงานเพิ่มขึ้นในสภาพสังคมปัจจุบัน โดยมีการตั้งสมมุติฐานว่าเป็นผลที่เกิดขึ้นตามมาจากการใส่รองเท้าที่ไม่เหมาะสม (Staheli, 1991; Sachithanandamm & Joseph, 1995) รองเท้าที่แข็ง และคับจนเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการผิดรูปของโครงสร้างของเท้าในระหว่างที่เด็กกำลังเจริญเติบโตได้ (Wolf et al., 2008)

4.3.2 อันตรายของการวิ่งเท้าเปล่า

4.3.2.1 อันตรายที่เกิดจากพื้นผิวที่สัมผัส

ผิวหนังใต้ฝ่าเท้าสามารถสัมผัสเข้ากับสิ่งสกปรก ขยะ หรือซากปรักหักพังต่างๆ เช่น เศษแก้ว ตะปู ก้อนหิน และหนามแหลม เป็นต้น จึงอาจทำให้มีโอกาสเกิดการบาดเจ็บได้ (Squadrone & Gallozzi, 2009)

4.3.2.2 อันตรายที่เกิดจากการสัมผัสกับจุลชีพต่างๆ

การวิ่งเท้าเปล่าเปิดโอกาสให้ฝ่าเท้าได้สัมผัสกับฝุ่นละออง รวมถึงจุลชีพต่างๆ ที่อาจทำอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ได้ ในกรณีที่เท้ามีรอยแตก ผิวหนังพุพอง หรือรอยขีดข่วน ทำให้จุลชีพสามารถเข้าไปในร่างกายได้ และอาจก่อให้เกิดการติดเชื้อขึ้นได้

4.3.2.3 ขาดสิ่งรองรับการกระแทก

พื้นรองเท้าที่บาง หรือฝ่าเท้าอาจเพิ่มความสามารถต่อการรับความรู้สึกได้ดียิ่งขึ้น อาจช่วยให้ร่างกายมีการปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิ่ง เพื่อลดการกระแทก แต่ก็มีโอกาสที่จะทำให้เกิดอันตรายจากแรงกระแทกได้เช่นเดียวกัน (Denton, 2005)

4.3.2.4 รูปแบบการวิ่งที่ผิด

การปรับเปลี่ยนรูปแบบการวิ่ง หรือการวิ่งในรูปแบบที่ผิดไปอาจส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อในยางค์ขาได้

5. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิ่งและรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่ง

การออกกำลังกายด้วยการวิ่งเป็นที่นิยมในกลุ่มประชากรมากขึ้น งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่ส่งผลต่อการวิ่งจึงเริ่มมีออกมาอย่างต่อเนื่อง เพื่อปรับปรุง และออกแบบรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งให้เหมาะสม และลดการบาดเจ็บจากการวิ่งโดยมุ่งเน้นไปยังแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้น (GRF) เนื่องจากมีงานวิจัยบ่งชี้ว่าแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้นมีค่าสูงสุดในช่วงเวลาระหว่าง 50 มิลลิวินาทีแรกที่เท้าสัมผัสพื้น (Nigg, 1978; Cavanagh, LaFortune, 1980; Nigg, 1986; Frederick, Hayes, & Mann 1981) จึงทำให้บรรดาผู้ผลิตรองเท้ากีฬาหันมาสนใจในการพัฒนาพื้นรองเท้าส่วนกลางเพื่อลดแรงกระแทก (Andreasson & Peterson, 1986) แต่งานวิจัยจำนวนมากรายงานว่า ถึงแม้ความแข็งพื้นรองเท้าส่วนกลางจะแตกต่างกันไปเพียงใด ก็ไม่พบความแตกต่างที่จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงปฏิกิริยาสะท้อนจากพื้น hardness (Clarke, Frederick, & Cooper, 1983; Nigg, Lue thi, Denoth, & Stacoff 1983; Nigg, Bahlsen, Luethi, & Stokes 1987; Snel, Delleman, Heerkens, & van Ingen Schenau, 1985)

การศึกษาเรื่องการบาดเจ็บจากการวิ่งหลายงานรายงานตรงกันว่า การบาดเจ็บส่วนใหญ่เกิดขึ้นซ้ำๆ กันที่ระยะขามากถึง 35-56% เมื่อสำรวจในกลุ่มวิ่งเพื่อสุขภาพ และวิ่งเพื่อการแข่งขันภายในระยะเวลา 1 ปี (van Mechelen, 1992; Hreljac et al., 2000) โดยเฉพาะตำแหน่งข้อเท้า และข้อเข่า (Jacobs and Berson, 1986; Matheson et al., 1987; van Mechelen, 1992; Taunton et al., 2002) มีรายงานการศึกษาถึงปัจจัยที่ส่งผลต่อการบาดเจ็บต่อข้อต่อต่างๆ เช่น ข้อเท้าแพลง จากหลากหลายสาเหตุ ดังนี้

1. การรับรู้ตำแหน่งการวางเท้าที่ได้รับจากตัวรับสัญญาณความรู้สึกจากระบบประสาทบริเวณผิวหนังใต้ฝ่าเท้า (Plantar cutaneous mechanoreceptors) ลดลง เนื่องจากฝ่าเท้าไม่ได้สัมผัสกับพื้นโดยตรง จำกัดข้อมูลการรับรู้ความรู้สึกที่จะส่งไปยังสมอง ซึ่งทำให้ความสามารถในการแปรผลจากสมองลดลง

รวมไปถึงส่งผลให้การตอบสนองทางการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมลดลงตามไปด้วย (Robbins et al., 1995; Shakoob, Block, 2006; Doidge, 2007)

2. ระยะทางระหว่างแรงกดตัวของกล้ามเนื้ออกกับข้อเท้าเพิ่มขึ้น ส่งผลให้เกิดทอร์เก้นรอบข้อต่อ Subtalar เพิ่มขึ้น ทำให้กล้ามเนื้อจำเป็นต้องหดตัวแรงขึ้นอย่างรวดเร็ว (Stacoff et al., 1996).

3. การโฆษณาประชาสัมพันธ์ถึงคุณสมบัติของรองเท้าเกินกว่าความเป็นจริง สร้างการรับรู้ที่ผิดพลาดต่อผู้สวมใส่ ทำให้ประเมินแรงกระแทกได้ต่ำไปกว่าความเป็นจริง (Robbins and Gouw, 1991; Robbins and Waked, 1997) โดยเป็นการวิจัยที่ให้ผู้เข้ารับการทดลองเหยียบไปบนแผ่นวัดแรงปฏิกิริยาตอบสนองจากพื้นด้วยเท้าเปล่า และใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าชั้นกลางดูเหมือนใช้วัสดุในการผลิตแตกต่างกัน 3 คู่ พร้อมข้อมูลของรองเท้าที่มีความแตกต่างกัน; รองเท้าคู่แรกสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ดี (ข้อมูลโฆษณาเกินความจริง) รองเท้าคู่ที่ 2 ดูดซับแรงกระแทกได้ไม่ดี มีโอกาสเสี่ยงต่อการบาดเจ็บสูง (ข้อมูลเตือน) และรองเท้าคู่ที่ 3 ไม่ทราบลักษณะที่แน่นอน (ข้อมูลปกติ) พบว่าผู้เข้าร่วมการวิจัยจะเหยียบลงพื้นด้วยแรงปฏิกิริยาตอบสนองสูงสุดเมื่อใส่รองเท้าคู่ที่ 1 ซึ่งได้รับข้อมูลเกินความจริง และเหยียบลงพื้นด้วยแรงปฏิกิริยาตอบสนองต่ำสุด เมื่อใส่รองเท้าคู่ที่ 2 ซึ่งเป็นข้อมูลเตือน - และเท้าเปล่า ทำให้ผู้วิจัยสรุปว่า อัตราการเกิดการบาดเจ็บจากการวิ่งนั้นมีโอกาสเกิดได้สูงที่สุดเมื่อผู้สวมใส่ได้รับข้อมูลจากการโฆษณาเกินความจริง ทำให้ผู้สวมใส่เชื่อว่ารองเท้าที่สวมใส่อยู่มีความปลอดภัยสูงสุด จึงทำให้เกิดพฤติกรรมเคลื่อนไหวที่เปลี่ยนแปลงไป ซึ่งส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บตามมาได้มากขึ้นกว่าปกติ

นอกจากนี้ ปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อการบาดเจ็บจากการวิ่งยังมาจากเทคนิคการวิ่ง (Cavanagh and Williams, 1982; McMahon et al., 1987; Arendse et al., 2004) ซึ่งมีรายงานว่า นักวิ่งถึง 75% มีเทคนิคการวิ่งแบบส้นเท้าสัมผัสพื้น (Heel strike pattern) 24% เป็นกลุ่มที่วิ่งแบบกลางเท้าหรือฝ่าเท้าสัมผัสพื้น (Midfoot strike pattern) และมีเพียง 1% เท่านั้นที่เป็นกลุ่มที่วิ่งแบบปลายเท้าสัมผัสพื้น (Forefoot strike pattern) (Hasegawa, Yamauchi, & Kraemer, 2007; Kerr, Beauchamp, Fisher, & Neil, 1983), ความแข็งของพื้นสนาม (McMahon and Greene, 1979; Ferris et al., 1998; Kerdok et al., 2002; Karamanidis et al., 2006) รวมถึงการออกแบบรองเท้ากีฬาสำหรับวิ่งด้วย (Nigg et al., 1987; McNair and Marshall, 1994; Bergmann et al., 1995; Stacoff et al., 2001; Taunton et al., 2002; Stefanyshyn et al., 2006; Milner et al., 2006; Cheung et al., 2006; Kersting and Bruggemann, 2006) ซึ่งมีการสำรวจประชากรวัยเจริญพันธุ์ 1846 คน พบว่า อุบัติการณ์ของเท้าแบน (Flatfeet) เพิ่มขึ้นเมื่อคนเราเริ่มใส่รองเท้าก่อนอายุ 6 ปี (Sachithanandamm & Joseph, 1995) และความชุกของเท้าแบนสูงถึง 8.6% ในกลุ่มเด็กที่ใส่รองเท้าเทียบกับ 2.8% ในกลุ่มเด็กเท้าเปล่า (Rao & Joseph, 1992)

จากการศึกษาหลายงานพบว่า รองเท้าจะจำกัดการเคลื่อนไหวของเท้าซึ่งจะส่งผลถึงข้อต่อต่างๆ ในระยางค์ขา ทำให้รูปแบบการเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงไปเมื่อเทียบกับเดิน-วิ่งเท้าเปล่า ทั้งในคนปกติ และในผู้ป่วย (De Wit, De Clercq & Aerts, 2000; Radzimski, Mundermann & Sole, 2011) Wolf และคณะ (2008) ศึกษาโดยการวิเคราะห์ด้วยเครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติในเด็ก พบว่ารองเท้าที่ขายทั่วไปนั้นส่งผลต่อการเดินของเด็ก โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ส่วนปลายเท้าในขณะที่รองเท้าที่ปรับแต่งแล้วสามารถให้การ

เคลื่อนไหวได้เป็นธรรมชาติมากกว่า ซึ่งสอดคล้องกับ De Wit, De Clercq & Aerts (2000) ที่พบว่า เมื่อเปรียบเทียบการเคลื่อนไหวด้วยเท้าเปล่ากับการใส่รองเท้า นั้น เท้าเปล่าจะวางราบไปกับพื้นในจังหวะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น ซึ่งเชื่อได้ว่าจะทำให้แรงกดดันภายใต้ฝ่าเท้าลดลงผกผันกับพื้นที่ฝ่าเท้าที่สัมผัสพื้นเพิ่มขึ้น โดยรายงานความสัมพันธ์เชิงปฏิภาคระหว่างมุมของฝ่าเท้าขณะสัมผัสพื้นกับแรงกดดันใต้ส้นเท้าสูงสุด นอกจากนี้ยังมีการ ศึกษาการเกิดข้อเข่าเสื่อมในผู้หญิงที่ใส่รองเท้าส้นสูงมากและสูงระดับปานกลาง พบว่ารองเท้าส้นสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงภายนอกที่กระทำต่อระยะข้อเข่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเพิ่ม Varus moment ของข้อเข่าและยืดระยะการงอเข่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเดินเท้าเปล่า (Kerrigan, Todd, & Riley, 1998; Kerrigan, Lelas, & Karvosky, 2001) และยังพบอีกว่ารองเท้าหุ้มส้นของผู้ชาย และรองเท้าผ้าใบก็เพิ่ม Varus moment ของข้อเข่าและยืดระยะการงอเข่าในระยะต้นของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นเช่นเดียวกัน (Kerrigan, Karvosky, Lelas, & Riley, 2003; Kerrigan et al., 2005)

Franz, Dicharry, Riley, & Kerrigan (2008) รายงานว่าการเสริมวัสดุที่พื้นด้านในของรองเท้ายังเพิ่ม Varus moment ของข้อเข่าทั้งระหว่างเดินและวิ่งอีกด้วย Shakoор & Block (2006) ศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มทดลองที่มีอาการข้อเข่าเสื่อมที่เดินใส่รองเท้าและเดินเท้าเปล่า พบว่าโมเมนต์ของการหุบสะโพก การหมุนเข่า ด้านในและออกด้านนอกสูงสุดเพิ่มในกลุ่มที่ใส่รองเท้ามากกว่ากลุ่มเดินเท้าเปล่า

Braunstein, Arampatzis, Eysel, & Bruggemann (2010) ได้ศึกษาผลของรองเท้าที่มีคุณลักษณะแตกต่างกัน โดยการเปรียบเทียบการวิ่งเท้าเปล่ากับการใส่รองเท้าชนิดต่างๆ พบว่าในช่วงต้นที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น อัตราส่วนของแขนของโมเมนต์ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นกระทำต่อข้อเท้า กับแขนของโมเมนต์ของเส้นเอ็นกล้ามเนื้อ Gastrosoleus ในการวิ่งเท้าเปล่า สูงกว่าในช่วงแรก แต่ต่ำกว่าในช่วงท้าย ในขณะที่ต่ำกว่าในข้อเข่า ซึ่งแสดงถึงแรงกดสูงภายในข้อเข่า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

1. กลุ่มตัวอย่าง

เป็นนิสิตชาย และหญิง คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยบูรพา และสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชลบุรี ระดับปริญญาตรีที่สมัครใจเข้าร่วมโครงการวิจัย มีสุขภาพดี และไม่มีประวัติการเจ็บป่วยเกี่ยวกับร่างกาย จำนวน 30 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน และเพศหญิง จำนวน 15 คน ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยจะได้รับการชี้แจงเกี่ยวกับวัตถุประสงค์โครงการวิจัย กระบวนการและขั้นตอนการวิจัย รวมถึงประโยชน์ของโครงการวิจัย สมัครใจเข้าร่วมโครงการโดยลงนามในเอกสารยินยอมโดยได้รับการบอกกล่าวและเต็มใจ (Informed Consent Form) การวิจัยในครั้งนี้ได้รับการรับรองจริยธรรมวิจัยโดยคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัย มหาวิทยาลัยบูรพา

หลักเกณฑ์ในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง

1. เป็นผู้ที่ย่ออกกำลังกายด้วยการวิ่งเป็นประจำสม่ำเสมอ ไม่น้อยกว่า 16 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ หรือ 10 ไมล์ต่อสัปดาห์ และอย่างน้อย 3 ครั้งต่อสัปดาห์ (Glover & Glover, 1999)
2. เป็นผู้ที่สุขภาพร่างกาย และจิตใจสมบูรณ์ แข็งแรง ไม่มีประวัติของการเป็นโรคภัยแรง หรือได้รับการบาดเจ็บอย่างรุนแรงที่ร่างกายทั้ง 2 ข้างอย่างน้อย 6 เดือนก่อนการเข้าร่วมโครงการวิจัย
3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยได้รับการชี้แจงถึงรายละเอียดของโครงการวิจัย และลงนามยินยอมไว้เป็นหลักฐาน

หลักเกณฑ์ในการคัดออกกลุ่มตัวอย่าง

1. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีประวัติกระดูกหัก หรือมีการผ่าตัดร่างกาย
2. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีการผิดปกติจากอุบัติเหตุที่ร่างกาย โดยเฉพาะที่ข้อเท้า หรือเท้า หรืออาการบาดเจ็บเฉียบพลันต่อร่างกายในช่วง 6 เดือนก่อนการเก็บข้อมูล
3. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีประวัติเกี่ยวกับความผิดปกติของหลัง หรือมีอาการปวดหลัง
4. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีประวัติการปวดเท้า
5. ผู้เข้าร่วมการวิจัยมีความผิดปกติที่ส่งผลต่อการเดิน หรือการวิ่ง เช่น อาการกล้ามเนื้ออ่อนแรง สูญเสียความรู้สึก อาการปวด และการควบคุมการเคลื่อนไหวบกพร่อง

6. ระหว่างทำการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยประสบอุบัติเหตุ เช่น ข้อเท้าเคล็ด ข้อเท้าแพลง เป็นต้น

หลักเกณฑ์การยุติการเข้าร่วมการวิจัย

1. เมื่อการศึกษาเสร็จสิ้นและบรรลุวัตถุประสงค์
2. การศึกษายังไม่เสร็จสิ้น แต่มีอุปสรรคที่ไม่สามารถแก้ไขได้เช่น มีการเจ็บป่วย การบาดเจ็บจากอุบัติเหตุ หรือผู้เข้าร่วมการวิจัย สมัครใจที่จะถอนตัว
3. ผู้เข้าร่วมการวิจัย ไม่สามารถให้ความร่วมมือหรือไม่สามารถปฏิบัติตามวิธีการที่ตั้งไว้ได้

2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ประกอบด้วย

1. แบบบันทึกข้อมูล ประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง
2. เครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ รุ่น Qualysis Motion Capture System (Qualysis, Sweden) พร้อมกล้องอินฟราเรด จำนวน 6 ตัว ใช้สำหรับเก็บข้อมูลภาพเคลื่อนไหว จับภาพโดยใช้กล้องที่ต้องคาลิเบรทความถูกต้องของระยะใน 3 มิติ ซึ่งจะประสาน และวิเคราะห์ข้อมูลทางคิเนมาติกส์ เช่น ตำแหน่ง ความเร็ว และความเร่ง ออกมาเป็นข้อมูลเชิงปริมาณ
3. เครื่องวัดความเร็วด้วยแสง (Swift Performance Equipment, US)
4. โปรแกรมการฝึกเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า

2.1 การพัฒนาเครื่องมือวิจัย

เครื่องมือวิจัยที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นโปรแกรมการฝึกเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นโปรแกรมที่พัฒนาจากการทบทวนโปรแกรมการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า 3 โปรแกรม ประกอบด้วยโปรแกรมการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่าของ Vibram five fingers, Bootier (2012) และ Robillard (2010) และได้มีการนำไปให้ผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 2 ท่าน ให้ตรวจสอบ และให้ข้อเสนอแนะ (ภาคผนวก ก)

2.2 คุณภาพของเครื่องมือวิจัย

2.2.1 เครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ Qualisys Motion Capture (Qualisys AB, Sweden) พร้อมกล้องอินฟราเรด จำนวน 6 ตัว ซึ่งเป็นระบบสำหรับการสร้างข้อมูลคิเนมาติกส์ขึ้นจากภาพเคลื่อนไหวที่จับภาพโดยกล้องอินฟราเรดที่ได้รับการคาลิเบรทตำแหน่งอ้างอิงใน 3 มิติแล้ว และทำการรวบรวมข้อมูลคิเนมาติกส์สำหรับการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Qualisys Track Manager

2.2.2 เครื่องวัดความเร็วด้วยแสง (Swift Performance Equipment, US) เป็นเครื่องวัดความเร็วด้วยสัญญาณอินฟราเรดพร้อมตัวรับสัญญาณ โดยตั้งอยู่ 2 ข้างของเส้นทางวิ่งในลักษณะคล้ายกับประตู เมื่อมีวัตถุตัดผ่านลำแสงอินฟราเรด ตัวรับสัญญาณจะบันทึกข้อมูลความเร็ว และรายงานในหน่วยเมตรต่อวินาที

2.2.3 โปรแกรมการฝึกเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า เป็นโปรแกรมที่พัฒนาจากการทบทวนโปรแกรมการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า 3 โปรแกรม ประกอบด้วยโปรแกรมการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่าของ Vibram five fingers, Bootier (2012) และ Robillard (2010) (ภาคผนวก ก) นำโปรแกรมการฝึกเดินด้วยเท้าเปล่าตรวจสอบลักษณะการออกกำลังเท้า ระยะเวลาและรูปแบบการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่าจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านชีวกลศาสตร์ และการออกกำลังกาย จำนวน 2 ท่าน

3. วิธีการวิจัย

3.1 แบบแผนการวิจัย

รูปแบบการวิจัยแบบทดลองโดยตัวแปรต้น คือ การใส่ และไม่ใส่รองเท้า (เท้าเปล่า) ตัวแปรตาม คือ การเปลี่ยนแปลงทางด้านคิเนมาติกส์ของร่างกาย ประกอบด้วย องค์ของการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า โดยสลับการทดลองแต่ละกลุ่มให้รับการทดสอบจนครบทั้งหมดในการดำเนินการวิจัย

ตารางที่ 3-1 แบบแผนการวิจัยเชิงทดลอง การเปรียบเทียบรูปทางคิเนมาติกส์ของการเดินเท้าเปล่าและการเดินสวมรองเท้า

กลุ่มตัวอย่าง	ประเภทของการสวมรองเท้า	
	สวมรองเท้า	เท้าเปล่า
เพศชาย (n = 15)	15	15
เพศหญิง (n = 15)	15	15

3.2 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

3.2.1 ขั้นตอนก่อนการวิจัย

1. ทำบันทึกขอความร่วมมือต่อคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา สถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชลบุรี ในการขออนุญาตใช้เครื่อง Motion capture ในการเก็บข้อมูลภาพการเคลื่อนไหว
2. ประกาศรับสมัครนักศึกษาผู้สนใจเข้าร่วมโครงการวิจัย โดยมีการกำหนดคุณสมบัติของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยอย่างละเอียด และชัดเจน
3. ทำการนัดหมายกลุ่มตัวอย่างเกี่ยวกับวัน เวลา ภายหลังจากประสานงานสถานที่และการขอใช้เครื่องมือเป็นที่เรียบร้อยแล้ว
4. ชี้แจงวัตถุประสงค์ของการวิจัย และขอความร่วมมือจากกลุ่มตัวอย่างในการทำวิจัย โดยมีข้อตกลงในการเตรียมความพร้อมของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย รวมถึงหลักเกณฑ์ในการคัดออกระหว่างการทำวิจัย ดังต่อไปนี้

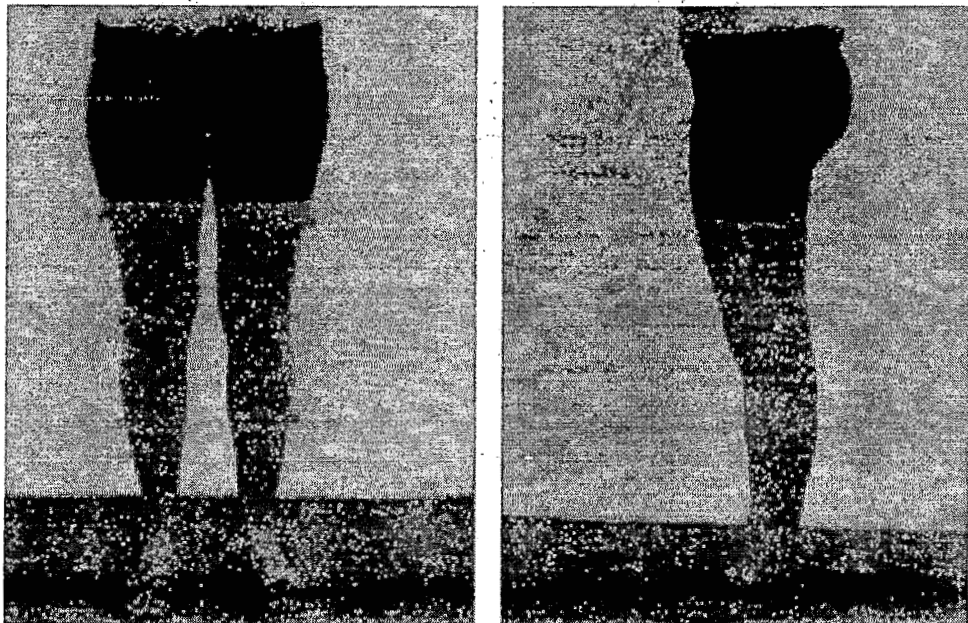
ข้อตกลงในการเตรียมความพร้อมของผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย

- 4.1 ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยนอนหลับพักผ่อนอย่างน้อย 7-8 ชั่วโมงในช่วงที่มีการทดสอบ
- 4.2 ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยงดการดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์ก่อนเข้าร่วมการทดสอบ
- 4.3 ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยงดการออกกำลังกายอย่างหนักก่อนเข้าร่วมการทดสอบ
5. เตรียมการวิจัยโดยมีการ калиเบรทอุปกรณ์ และเครื่องมือต่างๆ ก่อนเริ่มต้นเก็บข้อมูลวิจัย

3.2.2 ขั้นตอนการเตรียมผู้เข้าร่วมการวิจัย

ก่อนเริ่มการวิจัย ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับการชี้แจงถึงขั้นตอน และกระบวนการการวิจัย พร้อมลงนามยินยอมเข้าร่วมการวิจัยโดยสมัครใจ จากนั้นผู้วิจัยจะดำเนินการบันทึกข้อมูลน้ำหนักตัว ส่วนสูง หลังจากนั้น ผู้เข้าร่วมการวิจัยจึงเริ่มขั้นตอนการอบอุ่นร่างกาย ซึ่งประกอบด้วยการวิ่งด้วยความเร็วตามที่ผู้เข้าร่วมวิจัยเคยกระทำมา และไม่ก้มลงมองพื้นในขณะที่วิ่ง เป็นระยะเวลา 5 นาทีก่อนเริ่มขั้นตอนการวิจัย ภายหลังจากอบอุ่นร่างกายแล้ว ผู้เข้าร่วมวิจัยจะได้รับการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงลงบนตำแหน่งต่างๆ ของขา และเท้าทั้ง 2 ข้างตามแบบจำลองของ Halen Hayes ดังนี้

- ตำแหน่ง ASIS ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง PSIS ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง Lateral mid thigh ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง Lateral epicondyle ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง Lateral midshank ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง Lateral malleolus ซ้าย/ขวา
- ตำแหน่ง 2nd metatarsal head ซ้าย/ขวา



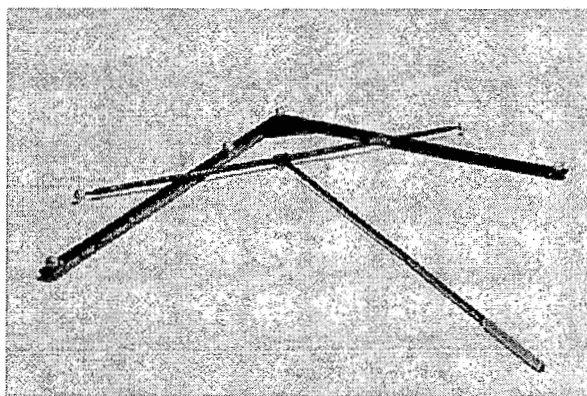
รูปที่ 3-1 ตำแหน่งการติดเครื่องหมายสะท้อนแสง (Reflective markers) ตามตำแหน่งต่างๆ ในระยางค์ขาตามแบบจำลองของ Halen Hayes (Kadaba et al., 1990)

3.2.3 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

3.2.3.1 ขั้นตอนการคาลิเบรตเครื่องมือ

ดำเนินการจัดเตรียมพื้นที่สำหรับการทดสอบทั้งขนาด และตำแหน่งสำหรับการคาลิเบรตเครื่องมือด้วยการนำเครื่องหมายสะท้อนแสง จำนวน 4 อันวางไว้ที่บริเวณมุมของพื้นที่ที่ครอบคลุมพื้นที่ที่ใช้ดำเนินการเก็บข้อมูล และวางกรอบอ้างอิงเพื่อระบุความสูงของพื้นที่ไว้ตรงกลางพื้นที่ที่ใช้ดำเนินการเก็บข้อมูล ตรวจสอบกล้องอินฟราเรดแต่ละตัวให้เห็นว่ากล้องสามารถจับภาพเครื่องหมายสะท้อนแสงได้ครบทุกอัน แล้วจึงดำเนินการคาลิเบรต ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ static calibration ซึ่งจะกำหนด global coordinate system และ dynamic calibration ซึ่งจะคาลิเบรตพื้นที่ที่ใช้ดำเนินการเก็บข้อมูล

อุปกรณ์ที่ใช้ในการคาลิเบรตประกอบด้วยไม้พร้อมเครื่องหมายสะท้อนแสง 3 อัน และแกนรูปตัวแอล โดยที่แกนด้านหนึ่งมีเครื่องหมายสะท้อนแสง 2 อัน และอีกแกนหนึ่งมีเครื่องหมายสะท้อนแสง 3 อัน (รูปที่ 3-2) ใน static calibration⁴ จะใช้แกนรูปตัวแอลประกอบเข้ากับไม้ เพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิง โดยกำหนดให้แกน X วางไปตามทิศทางของการวิ่ง แกน Y วางในแนวดิ่ง และแกน Z วางในแนวซ้าย-ขวา เพื่อสร้าง coordinate system (Wu & Cavanagh, 1995) แล้วจึงบันทึกภาพต่อเนื่องอย่างน้อย 4 วินาที ต่อจากนั้นจึงเริ่ม dynamic calibration โดยใช้ไม้เหวี่ยงไปรอบๆพื้นที่ที่ใช้ดำเนินการเก็บข้อมูล ในช่วงเวลาดังกล่าว จะบันทึกภาพต่อเนื่องอย่างน้อย 90 วินาที ภายหลังจากเสร็จสิ้นการคาลิเบรตแล้ว Qaulysis Track Manager (QTM) จะรายงานผลของการคาลิเบรตจากกล้องแต่ละตัว



รูปที่ 3-2 อุปกรณ์สำหรับการคาลิเบรตพื้นที่ในการวิจัย

3.2.3.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยสวมเสื้อแขนสั้นและกางเกงขาสั้นพร้อมติดเครื่องหมายสะท้อนแสงตามแบบจำลองของ Halen Hayes เครื่องหมายสะท้อนแสงจะถูกยึดไว้กับผิวหนังด้วยเทปโมโครพอร์ ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยยืนอยู่ในพื้นที่ที่ได้รับการคาลิเบรตโดยหันหน้าไปตามทิศทางของแกน X เพื่อจับภาพเครื่องหมายสะท้อนแสงแต่ละตำแหน่งของการยืนตรงปกติเข้าสู่ระบบของเครื่องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ โดยมีกล้องอินฟราเรดจำนวน 6 ตัว ติดตั้งอยู่รอบพื้นที่ที่ใช้ในการวิจัย เพื่อใช้เป็น

ตำแหน่งในการอ้างอิงการเคลื่อนไหว และเพื่อให้มั่นใจได้ว่ากล้องทุกตัวจะเห็นเครื่องหมายสะท้อนแสงทั้งหมดครบ จากนั้น ให้ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยวิ่งด้วยความเร็วควบคุมที่ 3.5 เมตรต่อวินาที $\pm 5\%$ ซึ่งจับความเร็วของการวิ่งด้วยเครื่องวัดความเร็ว Speedlight timing (Divert et al., 2005) ดำเนินการเก็บข้อมูลการวิ่งสวมรองเท้าของขาแต่ละข้าง จำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยจะได้รับการอนุญาตให้พัก 5 นาทีระหว่างการทดสอบแต่ละครั้ง และจะเก็บข้อมูลของการวิ่งที่สมบูรณ์ตามข้อกำหนดในแต่ละครั้ง และเก็บข้อมูลการวิ่งด้วยเท้าเปล่าของขาแต่ละข้างซ้ำ จำนวนทั้งสิ้น 3 ครั้ง โดยจะได้รับการอนุญาตให้พัก 5 นาทีระหว่างการทดสอบแต่ละครั้ง จะเก็บข้อมูลของการวิ่งที่สมบูรณ์ตามข้อกำหนดในแต่ละครั้ง หลังจากนั้น มีการจัดโปรแกรมการฝึกเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า เพื่อให้ผู้เข้าร่วมการวิจัยคุ้นเคยกับการเคลื่อนไหวด้วยเท้าเปล่า เป็นระยะเวลา ๘ สัปดาห์ (ภาคผนวก ก) แล้วจึงกลับมาเก็บข้อมูลการเดินด้วยการสวมรองเท้า และการเดินเท้าเปล่าอีกครั้ง

3.2.3.3 ขั้นตอนหลังการเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการ

นำภาพเคลื่อนไหวที่ได้มาเข้าโปรแกรมที่สร้างขึ้นสำหรับวิเคราะห์ค่าองศาการเคลื่อนไหว แล้วจึงนำข้อมูลที่ได้ภายหลังการวิเคราะห์มาจัดทำข้อมูลทางสถิติ แล้วนำเสนอในรูปแบบตาราง และแผนภูมิ พร้อมกับคำบรรยายประกอบ

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยนำข้อมูลของผู้เข้าร่วมการวิจัย มาดำเนินการวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 17.0 ดังนี้

1. วิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน ได้แก่ ค่าต่ำสุด (Min) ค่าสูงสุด (Max) ค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)
2. เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยองศาการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก ข้อเข่า และข้อเท้า ก่อนการฝึก (Pre-test) และหลังการฝึกด้วยโปรแกรมการฝึกเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่า (Post-test) ระหว่างเพศชายและเพศหญิง โดยใช้สถิติ Independent t-test ทดสอบความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

บทที่ 4

ผลการวิจัย

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลครั้งนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์ต่างๆ แทนความหมายเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- $\bar{X}$ แทน ค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง
- S.D. แทน ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- n แทน จำนวนกลุ่มตัวอย่าง
- sig แทน ค่าความมีนัยสำคัญทางสถิติ

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยเรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของร่างกายในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ข้อมูล นำเสนอข้อมูลในรูปตารางข้อมูล และความเรียง ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4-1 ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

รายการ	เพศชาย (n = 15)		เพศหญิง (n = 15)	
	$\bar{x}$	S.D.	$\bar{x}$	S.D.
อายุ	20.80	1.03	20.87	1.36
น้ำหนัก	73.58	4.62	53.23	3.63
ส่วนสูง	170.55	8.97	160.43	6.87

จากตารางที่ 4-1 รายงานข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ที่เข้าร่วมในงานวิจัยครั้งนี้ แบ่งออกเป็นเพศชาย จำนวน 15 คน มีอายุเฉลี่ย 20.80 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 73.58 กิโลกรัม และส่วนสูงเฉลี่ย 170.55 เซนติเมตร ตามลำดับ เพศหญิง จำนวน 15 คน มีอายุเฉลี่ย 20.87 ปี น้ำหนักตัวเฉลี่ย 53.23 กิโลกรัม และส่วนสูงเฉลี่ย 160.43 เซนติเมตร ตามลำดับ

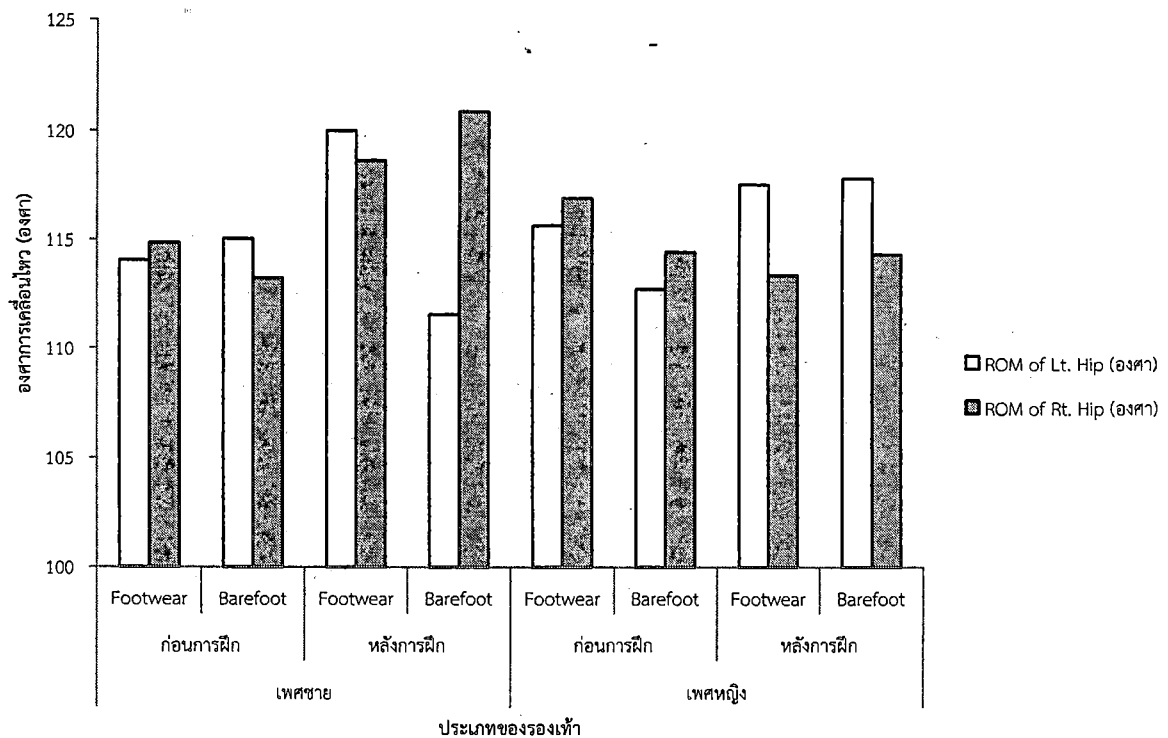
ตารางที่ 4-2 พิสัยของการเคลื่อนไหวของรยางค์ขาขณะที่เราเริ่มสัมผัสพื้น และระยะก้าว

Kinematics variables	เพศชาย								เพศหญิง							
	ก่อนการฝึก				หลังการฝึก				ก่อนการฝึก				หลังการฝึก			
	Footwear		Barefoot		Footwear		Barefoot		Footwear		Barefoot		Footwear		Barefoot	
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.
ROM of Lt. Hip (องศา)	114.04	11.08	115.04	10.24	120.01	9.54	111.56	9.05	115.66	12.69	112.72	12.01	117.58	13.03	117.87	12.23
ROM of Rt. Hip (องศา)	114.85	6.10	113.20	12.50	118.64	9.03	120.88	8.80	116.91	16.02	114.44	13.11	113.39	13.95	114.35	11.21
ROM of Lt. Knee (องศา)	161.87	7.82	162.64	7.12	161.42	7.31	159.19	5.93	161.51	15.59	163.46	4.15	159.68	8.41	161.90	7.01
ROM of Rt. Knee (องศา)	161.80	5.10	163.79	6.80	160.24	7.63	156.74	7.57	163.35	7.37	166.05	4.50	164.98	7.47	159.48	4.98
ROM of Lt. Ankle (องศา)	94.71	4.17	88.11	5.89	90.61	4.76	89.91	4.27	96.02	4.80	88.53	5.88	94.71	6.64	90.92	7.77
ROM of Rt. Ankle (องศา)	95.88	3.46	91.49	6.70	92.15	5.47	90.14	5.49	95.75	3.51	87.49	6.55	93.30	5.60	89.20	9.22
Step length (เมตร)	1.30	0.18	1.38	0.17	1.33	0.18	1.34	0.17	1.25	0.10	1.29	0.15	1.23	0.11	1.25	0.11

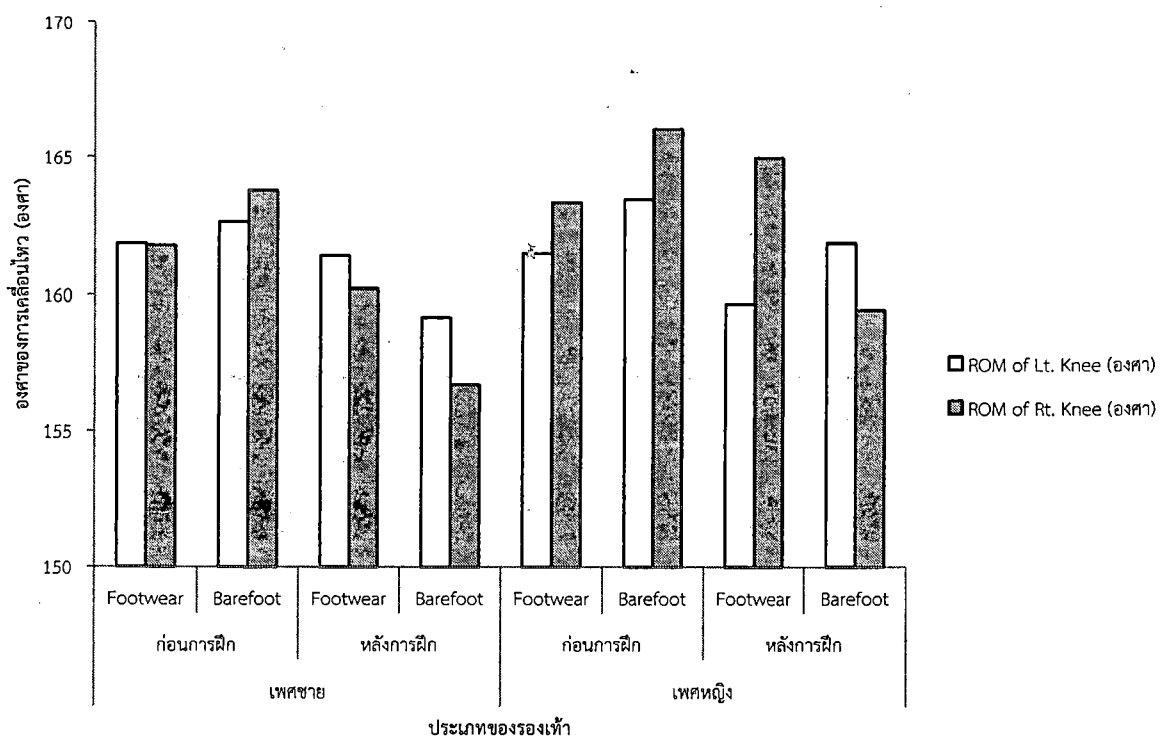
จากตารางที่ 4-2 พบว่า พิสัยของการเคลื่อนไหวของรยางค์ขา และระยะก้าว ในช่วงก่อนที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และภายหลังจากเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์แล้ว มีรายละเอียดดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างเพศชาย มีค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกข้างซ้าย และข้างขวาขณะสวมรองเท้า ระยะที่เราเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงก่อนการฝึก เท่ากับ 114.04 และ 114.85 องศา ตามลำดับ และขณะเดินเท้าเปล่า เท่ากับ 115.04 และ 113.20 องศา ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยขององศาการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกข้างซ้าย และข้างขวาขณะสวมรองเท้า ระยะที่เราเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงหลังการฝึก เท่ากับ 120.01 และ 118.64 องศา ตามลำดับ และขณะเดินเท้าเปล่า เท่ากับ 111.56 และ 120.88 องศา ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกข้างซ้าย และข้างขวาขณะสวมรองเท้า ระยะที่เราเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงก่อนการฝึก เท่ากับ 115.66 และ 116.91 องศา ตามลำดับ และขณะเดินเท้าเปล่า เท่ากับ 112.72 และ 114.44 องศา ตามลำดับ และค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกข้างซ้าย และข้างขวาขณะสวมรองเท้า ระยะที่เราเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงหลังการฝึก เท่ากับ 117.58 และ 113.39 องศา ตามลำดับ และขณะเดินเท้าเปล่า เท่ากับ 117.87 และ 114.35 องศา ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 4-1

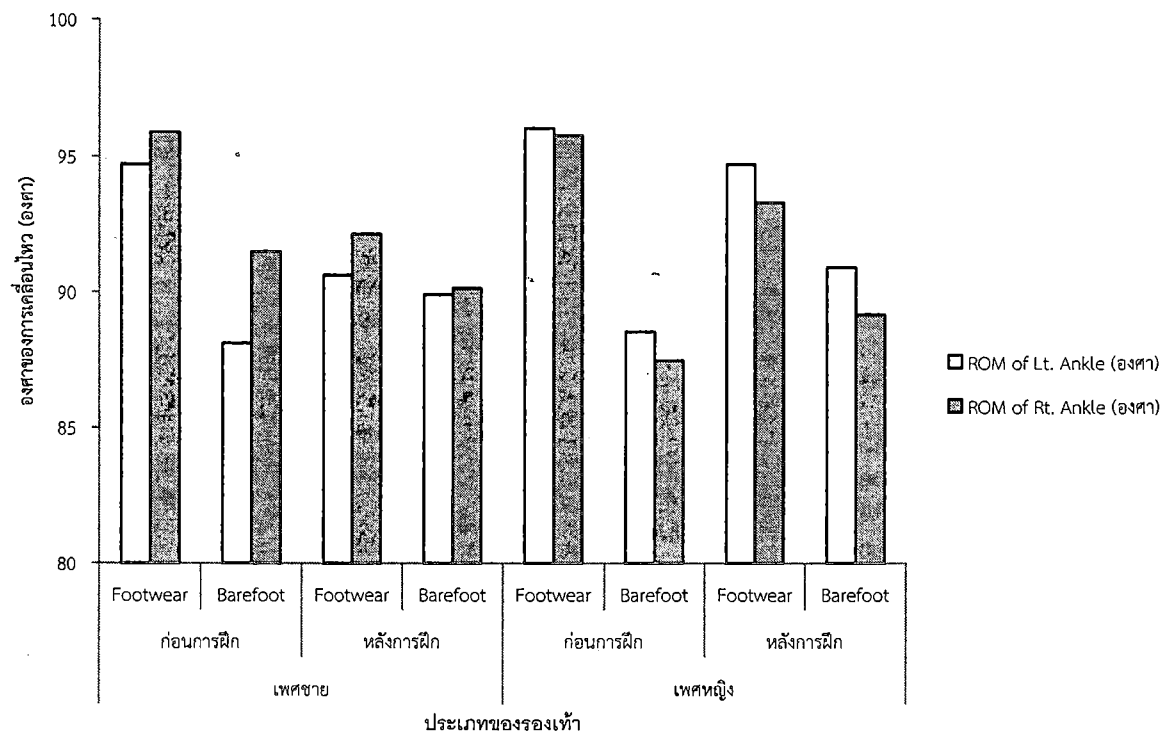
4. กลุ่มตัวอย่างเพศชาย มีค่าเฉลี่ยของระยะก้าวในระยะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงก่อนการฝึกขณะสวมรองเท้า เท้าเท่ากับ 1.30 เมตร และขณะเดินเท้าเปล่า เท้าเท่ากับ 1.38 เมตร ค่าเฉลี่ยของระยะก้าวใน ระยะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงหลังการฝึกขณะสวมรองเท้า เท้าเท่ากับ 1.33 และขณะเดินเท้าเปล่า เท้าเท่ากับ 1.34 เมตร ส่วนกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของระยะก้าวในระยะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงก่อนการฝึกขณะสวมรองเท้า เท้าเท่ากับ 1.25 เมตร และขณะเดินเท้าเปล่า เท้าเท่ากับ 1.29 เมตร ค่าเฉลี่ยของระยะก้าวใน ระยะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้นในช่วงหลังการฝึกขณะสวมรองเท้า เท้าเท่ากับ 1.23 และขณะเดินเท้าเปล่า เท้าเท่ากับ 1.25 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 4-4



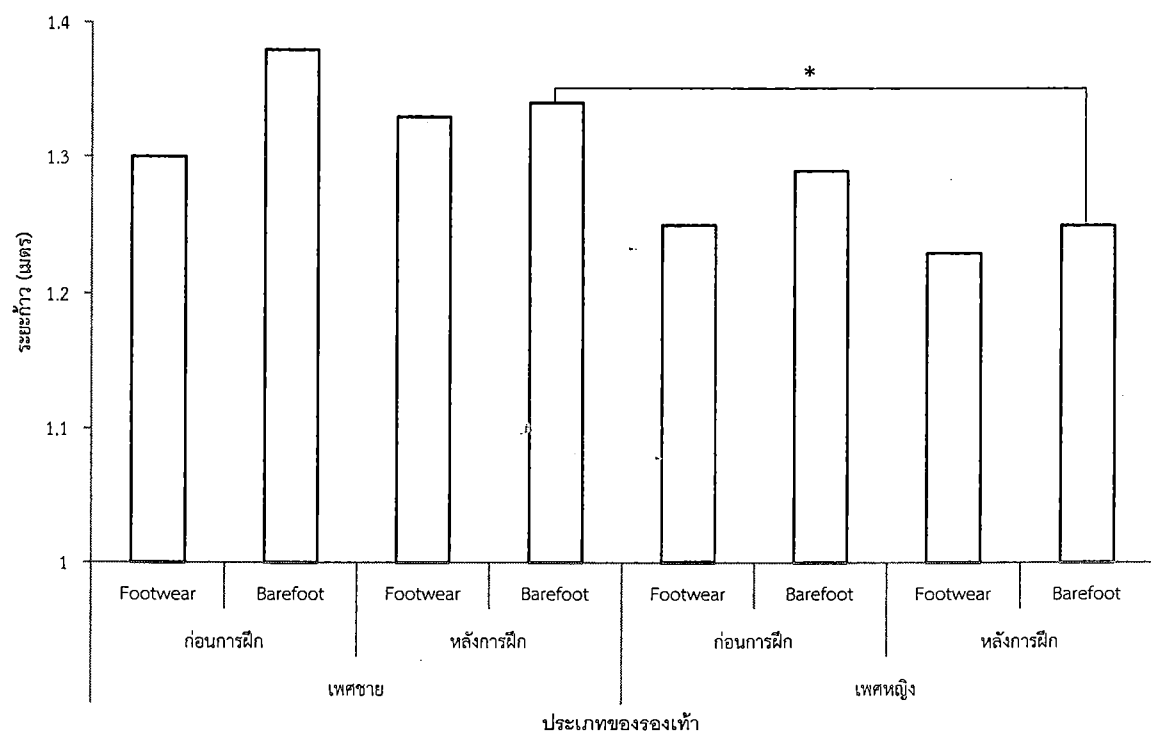
รูปที่ 4-1 เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของเพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์



รูปที่ 4-2 เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของเพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

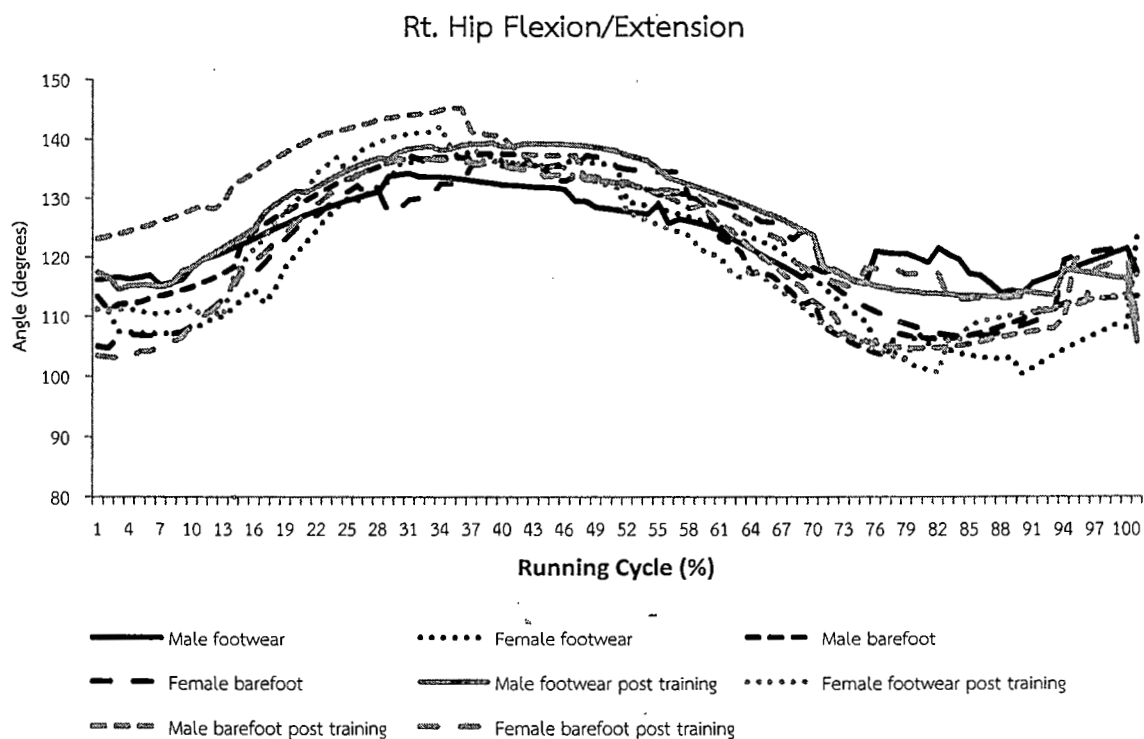


รูปที่ 4-3 เปรียบเทียบพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของเพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

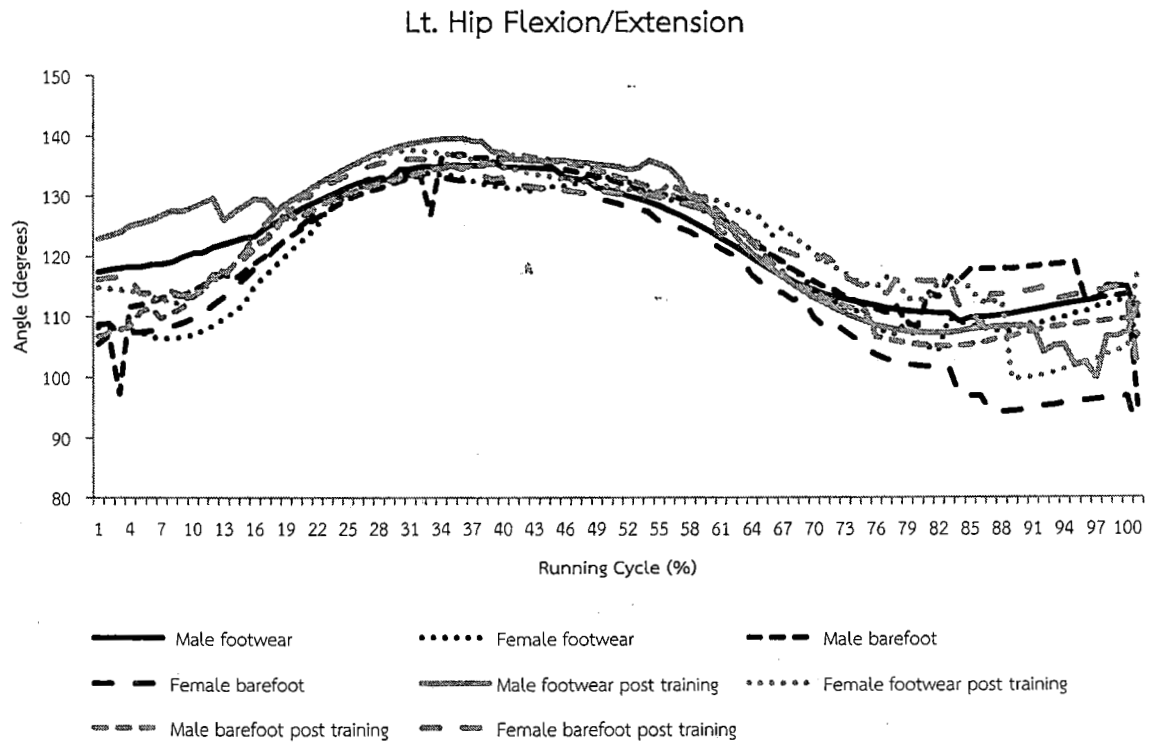


รูปที่ 4-4 เปรียบเทียบระยะก้าวระหว่างการวิ่งใส่รองเท้าและเท้าเปล่าของเพศชายและเพศหญิงก่อนและหลังเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของพิสัยการเคลื่อนไหวตลอดช่วงการวิ่งทั้งก่อนและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันทั้งในเพศชาย และเพศหญิง ยกเว้นค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกขวา และข้อเท้าขวามีความแตกต่างระหว่างเพศชาย และเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยที่เพศหญิงมีการเคลื่อนไหวข้อสะโพกในลักษณะการงอข้อสะโพกในช่วงต้นน้อยกว่าเพศชาย ภายหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (รูปที่ 4-5 และ 4-6)



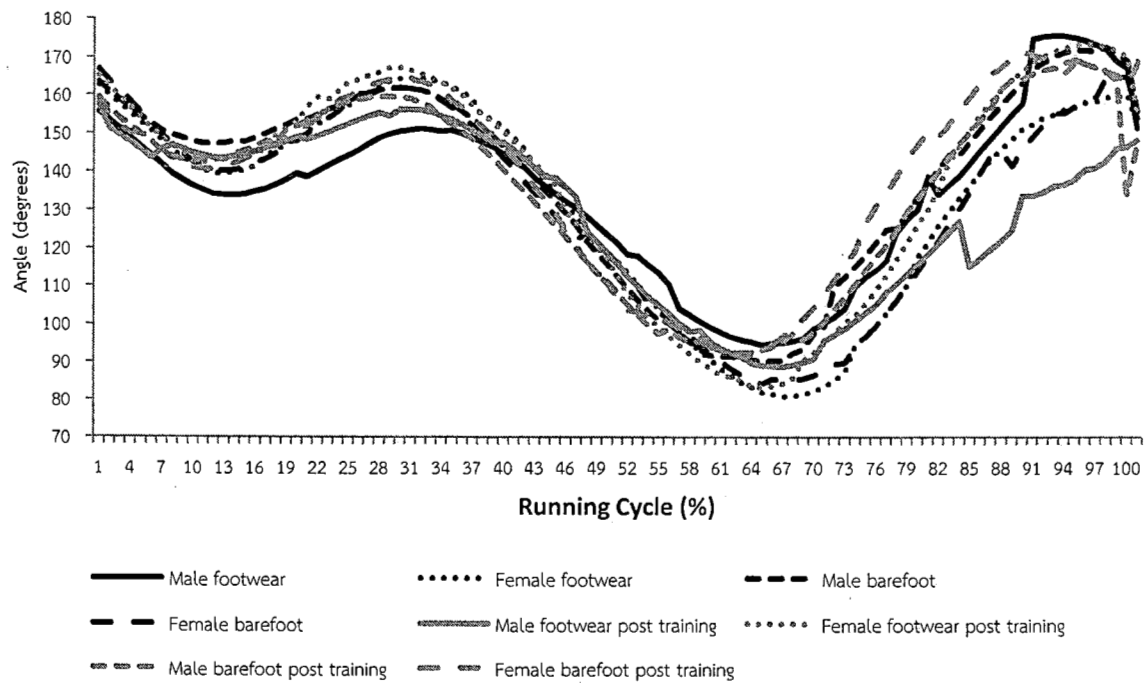
รูปที่ 4-5 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกขวาในรอบของการวิ่ง



รูปที่ 4-6 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกซ้ายในรอบของการวิ่ง

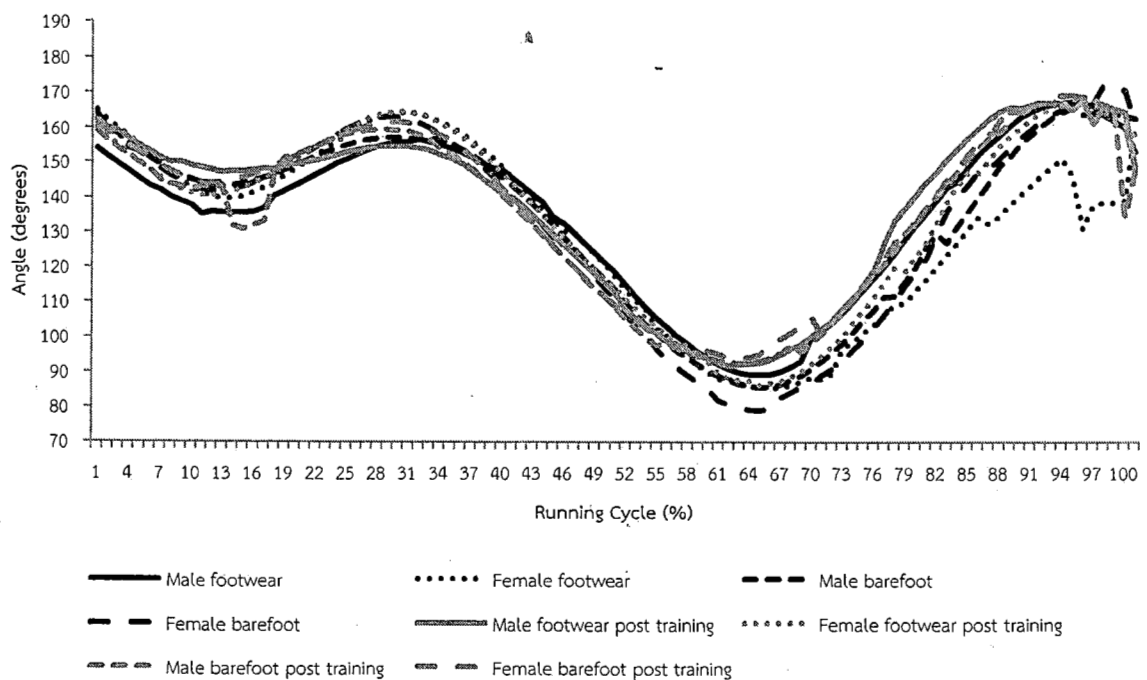
เมื่อพิจารณาแนวโน้มของพิสัยการเคลื่อนไหวตลอดช่วงการวิ่งทั้งก่อนและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกัน และไม่พบความแตกต่างระหว่างเพศชาย และเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ภายหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (รูปที่ 4-7 และ 4-8)

Rt. Knee Flexion/Extension



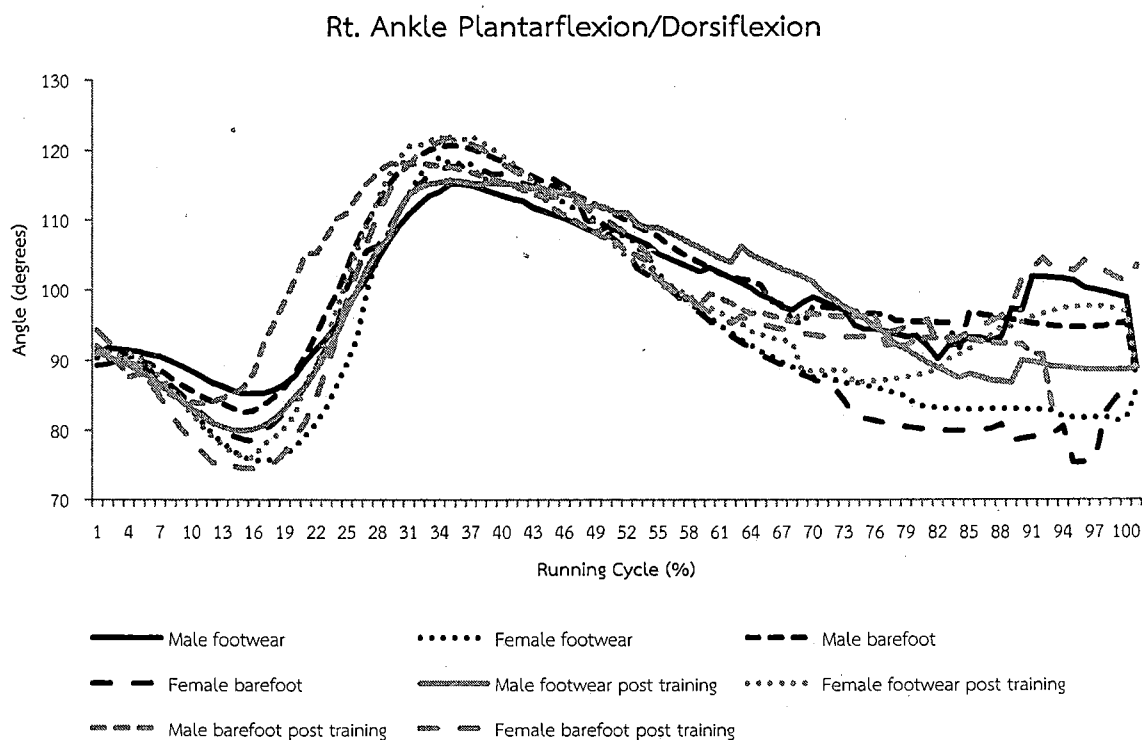
รูปที่ 4-7 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าขวาในรอบของการวิ่ง

Lt. Knee Flexion/Extension



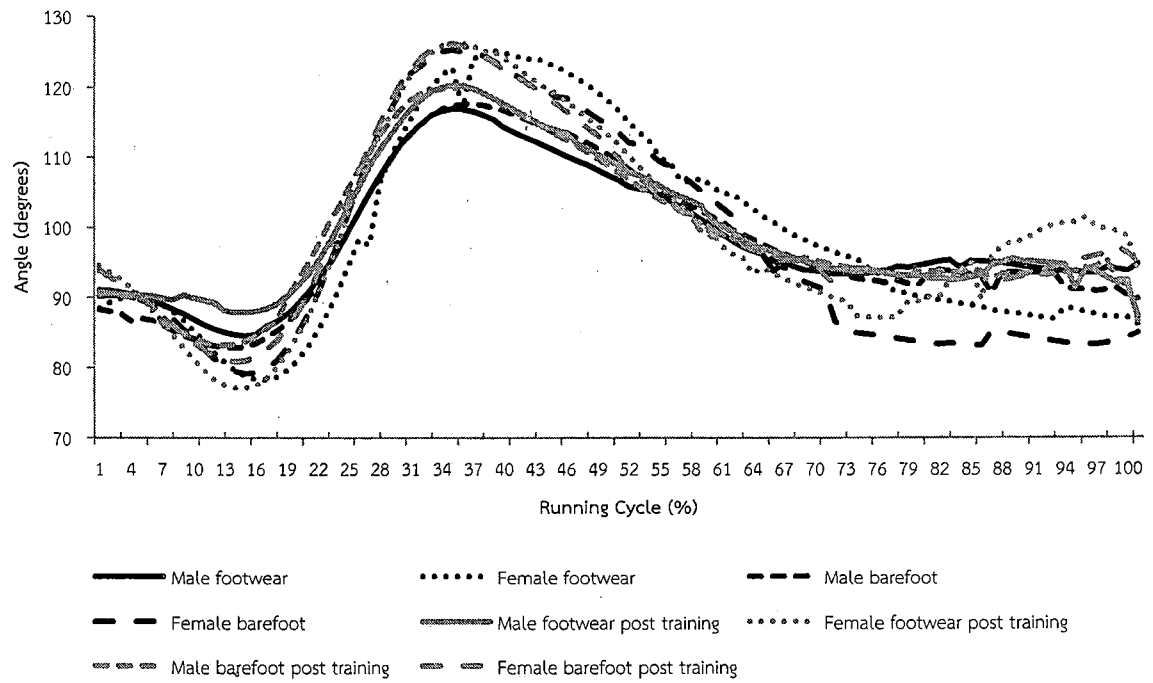
รูปที่ 4-8 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเข่าซ้ายในรอบของการวิ่ง

เมื่อพิจารณาแนวโน้มของพิสัยการเคลื่อนไหวตลอดช่วงการวิ่งทั้งก่อนและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้ามีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันทั้งในเพศชาย และเพศหญิง ยกเว้นค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าชายมีความแตกต่างระหว่างเพศชาย และเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยที่เพศหญิงมีการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในลักษณะถีบปลายเท้าลงในช่วงต้นของการลงน้ำหนักมากกว่าเพศชาย ในการวิ่งด้วยเท้าเปล่าหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ (รูปที่ 4-9 และ 4-10)



รูปที่ 4-9 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าขวาในรอบของการวิ่ง

Lt. Ankle Plantarflexion/Dorsiflexion



รูปที่ 4-10 พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อเท้าซ้ายในรอบของการวิ่ง

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของร่างกายในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างตัวแปรด้านคิเนมาติกส์ของการเคลื่อนไหวในการวิ่งเท้าเปล่ากับการวิ่งใส่รองเท้าระหว่างเพศชายและเพศหญิง

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ นิสิตชาย และหญิง มหาวิทยาลัยบูรพา และสถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตชลบุรี ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2556 จำนวน 30 คน เป็นเพศชาย 15 คน และเพศหญิง 15 คน ได้มาด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) ผู้วิจัยวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป SPSS เวอร์ชัน 17.0 ด้วยการหาค่าเฉลี่ย ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยขององศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ในร่างกาย ประกอบด้วยข้อสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า และระยะก้าว ก่อนการฝึกและหลังการฝึกเดินด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ โดยการทดสอบค่า t แบบ Independent t-test

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของร่างกายในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง สรุปผลการวิจัย ดังนี้

1. องศาการเคลื่อนไหวของร่างกายของกลุ่มตัวอย่างที่ฝึกตามโปรแกรมการเดิน-วิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า

ในช่วงการก่อนที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยเข้ารับโปรแกรมการฝึกเดินด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศชายมีค่าเฉลี่ยของการงอข้อสะโพก (Hip flexion) การงอข้อเข่า (Knee flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsiflexion) ขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งใส่รองเท้า คือ 114.04, 161.87 และ 94.71 องศาในขาซ้าย และ 114.85, 161.80 และ 95.88 องศาในขาขวา ตามลำดับ และขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งเท้าเปล่า คือ 115.04, 162.64 และ 88.11 ในขาซ้าย และ 113.20, 163.79 และ 91.49 ในขาขวา ตามลำดับ และผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของการงอข้อสะโพก (Hip flexion) การงอข้อเข่า (Knee flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsiflexion) ขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งใส่รองเท้า คือ 115.66, 161.51 และ 96.02 องศาในขาซ้าย และ 116.91, 163.35 และ 95.75 องศาในขาขวา ตามลำดับ และขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งเท้าเปล่า คือ 112.72, 163.46 และ 88.53 ในขาซ้าย และ 114.44, 166.05 และ 87.49 องศาในขาขวา ตามลำดับ

ส่วนในช่วงภายหลังจากเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศชายมีค่าเฉลี่ยของการงอข้อสะโพก (Hip flexion) การงอข้อเข่า (Knee flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsiflexion) ขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งใส่รองเท้า คือ 120.01, 161.42, 90.61 องศาในขาซ้าย และ 118.64, 160.24 และ 92.15 องศาในขาขวา ตามลำดับ และขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งเท้า

เปล่า คือ 111.56, 159.19, 89.91 ในขาซ้าย และ 120.88, 156.74 และ 90.14 ในขาขวา ตามลำดับ และผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของการงอข้อสะโพก (Hip flexion) การงอข้อเข่า (Knee flexion) และการกระดกข้อเท้าขึ้น (Dorsiflexion) ขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งใส่รองเท้า คือ 117.58, 159.68 และ 94.71 องศาในขาซ้าย และ 113.39, 164.98 และ 93.30 องศาในขาขวา ตามลำดับ และขณะที่เท้าเริ่มสัมผัสพื้น เมื่อวิ่งเท้าเปล่า คือ 117.87, 161.90 และ 90.92 ในขาซ้าย และ 114.35, 159.48 และ 89.20 องศาในขาขวา ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยก่อนการฝึก และหลังการฝึกเดินด้วยวิ่งเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า เมื่อเปรียบเทียบแนวโน้มค่าเฉลี่ยขององศาการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ในรายค์ขา ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และค่าเฉลี่ยของการกระดกข้อเท้าขึ้นหลังการฝึกทั้งข้างซ้ายและข้างขวาน้อยกว่าก่อนการฝึก ทำให้การเคลื่อนไหวเปลี่ยนแปลงจากการกระดกข้อเท้าขึ้นเป็นการถีบปลายเท้าลงสัมผัสพื้น

ด้านระยะก้าว ค่าเฉลี่ยก่อนการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศชายมีค่าเฉลี่ยของระยะก้าว เมื่อวิ่งใส่รองเท้า เท่ากับ 1.3 ขณะวิ่งเท้าเปล่า เท่ากับ 1.38 เมตร ส่วนในช่วงภายหลังจากเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 8 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของระยะก้าวขณะวิ่งสวมรองเท้า เท่ากับ 1.33 ขณะวิ่งเท้าเปล่า เท่ากับ 1.34 เมตร และผู้เข้าร่วมการวิจัยเพศหญิง มีค่าเฉลี่ยของระยะก้าว เมื่อวิ่งใส่รองเท้า เท่ากับ 1.25 ขณะวิ่งเท้าเปล่า เท่ากับ 1.29 เมตร ส่วนในช่วงภายหลังจากเข้ารับโปรแกรมการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ค่าเฉลี่ยของระยะก้าวขณะวิ่งสวมรองเท้า เท่ากับ 1.23 ขณะวิ่งเท้าเปล่า เท่ากับ 1.25 เมตร

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของระยะก้าวก่อนการฝึก และหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า หลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่า ระยะก้าวระหว่างเพศชาย และเพศหญิงแตกต่างกัน ในขณะที่วิ่งเท้าเปล่า ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ .02 และค่าเฉลี่ยของระยะก้าวหลังการฝึกมีแนวโน้มลดลงกว่าก่อนการฝึกทั้งการวิ่งใส่รองเท้าและวิ่งเท้าเปล่า ทั้งในเพศชายและเพศหญิง

2. การเปรียบเทียบองศาการเคลื่อนไหวของรายค์ขาของกลุ่มตัวอย่าง ระหว่างเพศชาย และเพศหญิง ก่อนการฝึกและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า เมื่อพิจารณาแนวโน้มของพิสัยการเคลื่อนไหวตลอดช่วงการวิ่งทั้งก่อนและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า พิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันทั้งในเพศชาย และเพศหญิง ยกเว้นค่าเฉลี่ยของพิสัยการเคลื่อนไหวของข้อสะโพกขวา และข้อเท้าขวามีความแตกต่างระหว่างเพศชาย และเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) โดยที่เพศหญิงมีการเคลื่อนไหวข้อสะโพกในลักษณะการงอข้อสะโพกในช่วงต้นน้อยกว่าเพศชาย และถีบปลายเท้าลงมาขึ้นภายหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์

อภิปรายผล

จากการวิจัย เรื่อง ความแตกต่างของรูปแบบทางคิเนมาติกส์ของระยางค์ขาในการวิ่งเท้าเปล่าและการวิ่งสวมรองเท้าในเพศชายและเพศหญิง โดยมีการฝึกการ วิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ และทำการเก็บข้อมูลการเคลื่อนไหวในสัปดาห์ที่ 5 แล้วนำผลมาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ พบว่า

องศาการเคลื่อนไหวของระยางค์ขาภายหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์โดยจำแนกเป็นค่าเฉลี่ยของมุมข้อต่อต่างๆในระยางค์ขา ดังนี้ ค่าเฉลี่ยของมุมในการก้มปลายเท้าลงในขณะที่เท้าสัมผัสพื้นเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ ($p < .05$) ทั้งข้างซ้ายและขวา เมื่อเทียบระหว่างเพศชาย และเพศหญิง สอดคล้องกับงานวิจัยหลายงานที่ศึกษาถึงการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเดิน-วิ่งจากการใส่รองเท้ามาเป็นไม่ใส่รองเท้า หรือเท้าเปล่า พบว่า ในขณะที่เท้าสัมผัสพื้น การใส่รองเท้าก็หาสำหรับวิ่งจะกระดกข้อเท้าเพื่อวางส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อน ซึ่งโดยปกติแล้ว นักวิ่งประมาณร้อยละ 80 จะวิ่งแบบวางส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อนส่วนอื่นของเท้า หรือ Rearfoot striking pattern โดยปกติ รูปแบบการวางเท้าแบบลงส้นเท้านั้นมักจะพบในคนที่มีความคุ้นเคยกับการใส่รองเท้าเป็นระยะเวลานานและก่อให้เกิดแรงกระแทกต่อระยางค์ขาเพิ่มขึ้นมากกว่า 3-4 เท่าของน้ำหนักตัวซึ่งทำให้อาจอธิบายได้ถึงแนวคิดที่บริษัทผู้ผลิตรองเท้าจึงออกแบบให้ส้นรองเท้ามีความหนาด้วยการเพิ่มวัสดุเพื่อรองรับแรงกระแทกที่บริเวณส้นเท้า แต่กลับก่อปัญหาขึ้น ทำให้รูปแบบการวิ่งเปลี่ยนแปลงไป ไม่เป็นธรรมชาติ และก่อให้เกิดความเครียดเชิงกล (Mechanical stress) ต่อระยางค์ขา นอกจากนี้ ยังก่อให้เกิดผลแทรกซ้อนต่อการรับรู้ความรู้สึกจากฝ่าเท้าไปยังสมองระหว่างที่เท้าสัมผัสพื้น ทำให้การปรับสภาพร่างกายตามสภาวะแวดล้อม เช่น ความแข็งของพื้น ความขรุขระของพื้น ขาดหายไป ส่งผลให้การทำงานของกล้ามเนื้อเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม บางมัดทำงานมากขึ้น บางมัดทำงานลดลง แต่เมื่อวิ่งด้วยเท้าเปล่าแล้ว จะเปลี่ยนแปลงจากการวางส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อนกลายเป็นวางเต็มเท้ามากขึ้น (Bramble & Lieberman, 2004; Hasegawa et al, 2007; Lieberman et al., 2010) นอกจากนี้ รายงานการศึกษาของ Squadrone และ Gallozi (2009) ยังแสดงให้เห็นถึงการปรับเปลี่ยนของระยางค์ขาให้พร้อมสำหรับการรับแรงกระแทกโดยไม่มีวัสดุใดรองรับ และยังสัมพันธ์กับความมั่นคงของการก้าวที่เป็นผลมาจากตัวแปรด้านประสิทธิภาพและการอนุรักษ์พลังงานในการเคลื่อนไหว ทำให้ภายหลังจากการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ มีการปรับเปลี่ยนจากการวิ่งลงส้นเท้าเป็นลงเต็มฝ่าเท้ามากขึ้น การเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่างๆ ในระยางค์ขาอาจเกี่ยวข้องกับความสามารถของตัวรับสัญญาณประสาทเชิงกลในการปรับรูปแบบเพื่อตอบสนองต่อแรงกระแทกจากพื้น และยังช่วยปรับปรุงกลไกการทำงานประสานกันของระบบประสาทภายในข้อต่อให้ดียิ่งขึ้น (Kurz & Stergiou, 2003) ตัวรับสัญญาณประสาทเชิงกลได้ฝ่าเท้ามีบทบาทสำคัญในการควบคุมท่าทางระหว่างที่ระยางค์ขามีการเคลื่อนไหว ซึ่งเชื่อได้ว่า การเดินด้วยเท้าเปล่าจะช่วยเพิ่มการรับสัญญาณประสาทนำเข้า และทำให้ช่วยเพิ่มการทำงานของระบบประสาทในข้อต่อ จึงมีการปรับการเคลื่อนไหวของระยางค์ขา โดยเฉพาะข้อเท้าเพื่อลดแรงกระแทกที่จะตรงเข้าสู่ระยางค์ขา อีกทั้งยังช่วยเพิ่มการรับรู้ตำแหน่งของเท้า ลดความผิดพลาดที่อาจจะเกิดจากการวางเท้าผิดตำแหน่ง จึงสามารถช่วยลดการบาดเจ็บที่อาจจะเกิดขึ้นต่อการลงน้ำหนักผิดตำแหน่งในข้อต่อ เช่น ข้อเท้าพลิกข้อเท้าแพลง (Robbins & Gouw, 1991; Robbins & Waked, 1997) นอกจากนี้ การเปลี่ยนแปลง

รูปแบบการเคลื่อนไหวของร่างกายยังสามารถเกิดได้จากการรับรู้อื่น นั่นคือการมองเห็น โดยที่คนเรามีประสบการณ์ที่สะสมมาจากการเรียนรู้ ดังนั้นการวิ่งไปบนพื้น จะทำให้รับรู้ถึงสภาพแวดล้อม สภาพของพื้นที่ที่จะวางเท้า มีลักษณะแข็ง หรือนิ่ม ทำให้มนุษย์เราสามารถปรับลักษณะการเคลื่อนไหว โดยอาศัยข้อมูลที่สั่งสมมา เช่นเดียวกับงานวิจัยของ Robbins and Waked (1997) ที่ทำการศึกษาถึงผลของการโฆษณาของรองเท้ากีฬา ส่งผลต่อการรับรู้ของผู้เข้าร่วมงานวิจัย ทำให้ปรับเปลี่ยนการเคลื่อนไหว และวัดแรงกระแทกที่ได้ พบว่าเมื่อเดินด้วยเท้าเปล่า จะเกิดแรงกระแทกน้อยที่สุด ถัดไปเป็นรองเท้ากีฬาเก่า และวัดแรงกระแทกได้สูงสุดในรองเท้ากีฬาใหม่ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการรับรู้ด้วยสายตา แล้วนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลเดิมที่สั่งสมมา จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการเคลื่อนไหวได้ด้วยเช่นเดียวกัน

ในส่วนระยะก้าว เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเพศชายและเพศหญิงภายหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในการวิ่งเท้าเปล่า ($p \leq .05$) และเมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการฝึกวิ่งด้วยเท้าเปล่าเป็นระยะเวลา 4 สัปดาห์ พบว่า แนวโน้มของระยะก้าว ในขณะที่วิ่งเท้าเปล่าจะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยหลายงานระบุว่า ในขณะที่การเดินด้วยเท้าเปล่า นั้น จะส่งผลให้มีการเคลื่อนไหวของร่างกายเพิ่มมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับ การใส่รองเท้าซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับลักษณะการวางเท้าสัมผัสพื้น (Touchdown geometry) จากส้นเท้าสัมผัสพื้นก่อน กลายเป็นวางเต็มเท้ามากขึ้น หรือมีการเคลื่อนไหวของข้อเท้าในลักษณะถีบปลายเท้าลงเพื่อสัมผัสพื้นมากขึ้น (De Wit et al., 2000) ทำให้เกิดการปรับเปลี่ยนระยะก้าวสั้นลง (De Wit et al., 1996) ซึ่งจะทำให้กล้ามเนื้อ (gastrocnemius lateralis, gastrocnemius medialis, and soleus) ทำงานเพิ่มขึ้น ส่งผลให้พบว่าสามารถลดแรงกระแทกที่เข้าสู่ร่างกายได้ (Divert et al., 2005; Divert et al., 2005; Squadrone & Gallozzi, 2009; Lieberman et al., 2010) หรือในอีกงานวิจัยหนึ่งที่ทำเนิการวิจัยในเด็กเช่นเดียวกัน โดยเปรียบเทียบเท้าเปล่ากับรองเท้าทั่วไป และเปรียบเทียบเท้าเปล่า รองเท้าทั่วไป และรองเท้าที่ได้รับการออกแบบให้คล้ายกับเท้าเปล่า ผลการศึกษาพบว่ารองเท้านั้นมีอิทธิพลต่อการเคลื่อนไหวของร่างกาย โดยเฉพาะเท้า (Wolf et al., 2008) นอกจากนี้ ยังมีรายงานที่ศึกษาระยะก้าวเปรียบเทียบกันระหว่างการเดินใส่รองเท้าและการเดินเท้าเปล่า พบว่าการเดินเท้าเปล่ามีระยะก้าวสั้นลง (Oeffinger et al., 1999; Romer, et al., 2011; Romer, et al., 2012)

ข้อเสนอแนะ

การวิจัยในครั้งนี้ใช้ผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นกลุ่มนักศึกษาเพื่อทดสอบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจากการฝึกเดินด้วยเท้าเปล่า ในการวิจัยต่อไป ควรขยายกลุ่มตัวอย่างไปยังกลุ่มอื่น เช่น ผู้สูงอายุ หรือผู้ป่วยที่มีประวัติการบาดเจ็บที่ร่างกาย เช่น ข้อเข่าเสื่อม ข้อเท้าแพลง

เอกสารอ้างอิง

- อรวรีย์ ینگคเตช และศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ (2549). ชีวกลศาสตร์ของรองเท้ากีฬา. *สารวิทยาศาสตร์การกีฬา*, 8(72); 2-4.
- Alexander, R.M., & Bennett, M. (1989). How elastic is a running shoe?: We test the shoes that might save your energy as you run. Can manufacturers really manage to put a spring in your step? *New Scientist*, 123:45.
- American Academy of Podiatric Sports Medicine. (2007). Running Shoes Anatomy retrieved from <http://www.aapsm.org/runshoe-running-anatomy.html>
- Andreasson, G., & Peterson, L. (1986). Effects of shoe and surface characteristics on lower limb injuries in sports. *International Journal of Sports Biomechanics*, 2; 202-209.
- Arendse, R.E., Noakes, T.D., Azevedo, L.B., Romanov, N., Schwellnus, M.P., & Fletcher, G. (2004). Reduced eccentric loading of the knee with the pose running method. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 36(2); 272-277.
- Barnes, R.A., & Smith, P.D. (1994). The role of footwear in minimizing lower limb injury. *Journal of Sports Science*, 12(4); 341-353.
- Bates, B.T., Osternig, L.R., & Mason, B. (1978). *Lower extremity function during the support phase of running*. In: Asmussen E, Jorgensen K (Eds.), *Biomechanics VI*. p. 31-9, Baltimore (MD): University Park Press.
- Baxter, D.E. (1995). *The foot and ankle in sport*. London: Mosby.
- Bergmann, G., Kniggenndorf, H., Graichen, F., & Rohlmann, A. (1995). Influence of shoes and heel strike on the loading of the hip joint. *Journal of Biomechanics*, 28(7); 817-827.
- Bootiers, J. (2012). *Biomechanical efficiency and metabolic economy: Vibram Five Fingers versus conventional running shoes*. Unpublished master's thesis, Sonoma State University, CA, US.
- Bramble, D. M. & Lieberman, D. E. (2004). Endurance running and the evolution of Homo. *Nature*, 423; 345-352.
- Braunstein, B., Arampatzis, A., Eysel, P., & Bruggemann, G. P. (2010). Footwear affects the gearing at the ankle and knee joints during running. *Journal of Biomechanics*, 43; 2120-2125.
- Burkett, L.N., Kohrt, W.M., & Buchbinder, R. (1985). Effects of shoes and foot orthotics on VO_2 and selected frontal plane knee kinematics. *Medicine & Science in Sport and Exercise*, 17(1): 158-163.

- Butler, R.J., Hamill, J., & Davis, I. (2007). Effect of footwear on high and low arched runners' mechanics during a prolonged run. *Gait & Posture*, **26**; 219-225.
- Cailliet, R. (1997). *Foot and ankle pain*. Philadelphia: F.A. Davis Company.
- Calais-Germain B. (1999). *Anatomy of Movement*. Revised ed. Seattle, WA; Eastland Press.
- Cavanagh, P.R. (1980). Forces and pressures between the foot and floor during normal walking and running. In: Cooper JM, Haven B, (Eds.) p. 172-90. *Proceedings of the Biomechanics Symposium*. IN: Indiana University.
- Cavanagh, P.R., & LaFortune, M.A. (1980). Ground reaction forces in distance running. *Journal of Biomechanics*, **13**; 397-406.
- Cavanagh, P.R., & Williams, K.R. (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, **14**(1); 30-35.
- Cheung, R.T.H., Ng, G.Y.F., & Chen, B.F.C. (2006). Association of footwear with patellofemoral pain syndrome in runners. *Sports Medicine*, **36**(3); 199-205.
- Clarke, T.E., Frederick, E.C., & Cooper, L.B. (1983). The effects of shoe cushioning upon ground reaction forces in running. *International Journal of Sports Medicine*, **4**, 247-251.
- Clarke, T.E., Frederick, E.C., & Hamill, C.L. (1983). The effects of shoe design parameters on rear foot control in running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, **15**(5): 376-381.
- Denton, J.D. (2005) Light does not make right. *Running Times*, retrieve from <http://runningtimes.com/Article.aspx?ArticleID=5462>
- De Wit, B., De Clercq, D., & Aerts, A. (1996). Ground Reaction Forces and Spatio-temporal Variables during Barefoot and Shod Running. In J. Abrantes (Ed.), *Proceedings XIV International Symposium on Biomechanics in Sports 1996*. Lisboa: Edições FMH.
- De Wit, B., De Clercq, D., & Aerts, P. (2000). Biomechanical analysis of the stance phase during barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*, **33**; 269-278.
- Dicharry, J.M. (2010). *Barefoot running: Is barefoot better?* In: UVA Running Medicine Conference. Charlottesville, VA.
- Divert, C., Mornieux, G., Baur, H., Mayer, F., & Belli, A. (2005). Mechanical Comparison of Barefoot and Shod Running. *International Journal of Sports Medicine*, **26**(7); 593-598.

- Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F., & Belli, A. (2008). Barefoot-shod running differences: shoe or mass effect? *International Journal of Sports Medicine*, 29(6): 512-518
- Doidge N. (2007). *The brain that changes itself: stories of personal triumph from the frontiers of brain science*. London; UK, Penguin books
- Drake, R.L., Vogl, W., & Mitchell, A.W.M. (2005). *Gray's anatomy for students*. Philadelphia: Elsevier Churchill Livingstone.
- Ferris, D.P., Louie, M., & Farley, C.T. (1998). Running in the real world: adjusting leg stiffness for different surfaces. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 265(1400); 989-994.
- Frederick, E.C., Hayes, J.L., & Mann, R.A. (1981). Prediction of vertical impact force during running. *Journal of Biomechanics*, 14; 498 (abstract).
- Flaherty RF (1994). *Running economy and kinematic differences among running with the foot shod, with the foot bare, and with the bare foot equated for weight*. Microform Publications, International Institute for Sport and Human Performance, University of Oregon, Eugene, Oregon
- Franz, J.R., Dicharry, J., Riley, P.O., & Kerrigan, D.C. (2008). The influence of arch supports on knee torques relevant to knee osteoarthritis. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 40(5); 913-917.
- Franz, J.R., Wierzbinski, C.M., & Kram, R. (2012). Metabolic Cost of Running Barefoot versus Shod: Is Lighter Better? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44(8); 1519-1525.
- Ganevia, S.C., & Gurke, D. (1992). Does the nervous system depend on kinesthetic information to control natural limb movements. *Behavioral and Brain Sciences*, 15: 614-632.
- Glover, B., & Glover, S.F. (1999). *The Competitive Runner's Handbook*, 2nd ed. US; Penguin group.
- Hardin, E.C., van den Bogert, A.J., & Hamill, J. Kinematic adaptations during running: Effects of footwear, surface, and duration. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 36(5); 838-844.
- Hasegawa, H., Yamauchi, & Kraemer, W.J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15- km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3);888-93.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques*. 4th ed. Englewood Cliffs : Prentice Hall

- Hennig, E.M., & Milani, T.L. (1995). In shoe pressure distribution for running in various types of Footwear. *Journal of Applied Biomechanics*, 11; 299–310.
- Hennig, E.M., & Milani, T.L. (2000). Pressure distribution measurements for evaluation of running shoe properties. *Sportverletz Sportschaden*, 14(3); 90-97.
- Hoffman, K. (1972). Stride length and frequency in female sprinters. *Track Tech*. 48; 15-22.
- Houglum, P.A. (2005). *Therapeutic exercise for musculoskeletal injuries*. US: Human Kinetics.
- Hreljac, A., Marshall, R.N., & Hume, P.A. (2000) Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 32(9); 1635–1641.
- http://www15.plala.or.jp/miagolare/Eng_Fitting_Chart.html
- <http://www.anatomyhq.org>
- <http://www.barefootdaves.com/2011/05/adidas-barefoot-running-shoes.html>
- <http://www.believeintherun.com/index.php/2011/12/13/newton-running-mv2-running-shoe-review>
- <http://www.steenwyk.com/conditions.php>
- <http://www.vibramfivefingers.com>
- Jacobs, S.J., & Berson, B.L. (1986). Injuries to runners: a study of entrants to a 10,000 meter race. *The American Journal of Sports Medicine*, 14(2); 151–155.
- James, S.J., Bates, B.T., & Osterning, L.R., (1978). Injuries to runners. *American Journal of Sports Medicine*, 6; 640–650.
- Kadaba, M.P., Ramakrishnan, H.K., Wooten, M.E., Gainey, J., Gorton, G., & Cochran, G.V.B. (1989). Repeatability of kinematic, kinetic, and electromyographic data in normal adult gait. *Journal of Orthopaedic Research*, 7(6); 849-860.
- Karamanidis, K., Arampatzis, A., & Brueggemann, G.P. (2006). Adaptational phenomena and mechanical responses during running: effect of surface, aging and task experience. *European Journal of Applied Physiology*, 98(3); 284–298.
- Kaselj, R. (2012). Traditional shoes vs. Minimalist shoes. Retrieved from <http://exercisesforinjuries.com/traditional-shoes-vs-minimalist-shoes/>
- Kerdok, A.E., Biewener, A.A., McMahon, T.A., Weyand, P.G., & Herr, H.M. (2002). Energetics and mechanics of human running on surfaces of different stiffnesses. *Journal of Applied Physiology*, 92(2); 469–478.

- Kerr, B.A., Beauchamp, L., Fisher, V., & Neil, R. (1983). Footstrike patterns in distance running. In: Nigg B, Kerr B, editors. *Biomechanical aspects of sports shoes and playing surfaces*. Calgary: University of Calgary
- Kerr, R.F., Bennett, M.B., Bibby, S.R., Kester, R.C., & Alexander, R.M. (1987). The spring in the arch of the human foot. *Nature*, 325(7000):147-149.
- Kerrigan, D.C., Franz, J.R., Keenan, G.S. Dicharry, J., Della Croce, U., & Wilder, R.P. (2009). The effect of running shoes on lower extremity joint torques. *PM&R*, 1(2); 1058-1063.
- Kerrigan, D.C., Johansson, J.L., Bryant, M.G., Boxer, J.A., Della Croce, U., & Riley, P.O. (2005). Moderate-heeled shoes and knee joint torques relevant to the development and progression of knee osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 86; 871-875
- Kerrigan, D.C., Karvosky, M.E., Lelas, J.L., & Riley, P.O. (2003). Men's shoes and knee joint torques relevant to the development and progression of knee osteoarthritis. *The Journal of Rheumatology*, 30(3); 529-533.
- Kerrigan, D.C., Lelas, J.L., & Karvosky, M.E. (2001). Women's shoes and knee osteoarthritis. *Lancet*, 357(9262); 1097-1098.
- Kerrigan, D.C., Todd, M.K., & Riley, P.O. (1998). Knee osteoarthritis and high-heeled shoes. *Lancet*, 351; 1399-1401.
- Kersting, U., & Bruggemann, G.P. (2006). The role of footwear-independent variations in rear foot movement on impact attenuation in heel-toe running. *Research in Sports Medicine*, 14(2); 117-134.
- Kurz, M.J., & Stergiou, N. (2003). The spanning set indicates that variability during the stance period of running is affected by footwear. *Gait & Posture*, 17: 132-135.
- Kurup, H.V., Clark, C.I.M., & Dega, R.K. (2012). Footwear and orthopaedics. *Foot and Ankle Surgery*, 18(2); 79-83.
- Lieberman, D.E., Venkadesan, M., Werbel, W.A., Daoud, A.I., Andrea, S.D., & Davis, I.S, et al. (2010). Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. *Nature*, 463; 531-535.
- Mann, R. A. (1982). Biomechanics of running. In: Mack RP, (ed.), *American Academy of Orthopaedic Surgeons Symposium on the Foot and Leg in Running Sports*. MO: C.V. Mosby.
- Mann, R.A., Baxter, D.E., & Lutter, L.D. (1981). Running symposium. *Foot Ankle*, 1;190-224.

- Matheson, G.O., Clement, D.B., McKenzie, D.C., Taunton, J.E., Lloyd-Smith, D.R., & MacIntyre, J.G. (1987). Stress fractures in athletes. a study of 320 cases. *The American Journal of Sports Medicine*, 15(1); 46–58.
- McKinley, M. & O'Loughlin V.D. (2008). *Human Anatomy* 2th ed. NY; McGraw-Hill.
- McMahon, T.A., & Greene, P.R. (1979). The influence of track compliance on running. *Journal of Biomechanics*, 12(12); 893–904.
- McMahon, T.A., Valiant, G., & Frederick, E.C. (1987). Groucho running. *Journal of Applied Physiology*, 62(6); 2326–2337.
- McNair, P.J., & Marshall, R.N. (1994). Kinematic and kinetic parameters associated with running in different shoes. *British Journal of Sports Medicine*, 28(4); 256–260.
- McPoil, T. G. (2000). Athletic footwear: design, performance and selection issues. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 3(3), 260-267.
- Milgrom C, Finestone, A., Ekenman, I, Simkin, A. & Nyska, M. (2001). The effect of shoe sole composition on in vivo tibial strains during walking. *Foot and Ankle International*, 22(7): 598-602.
- Milgrom, C., Giladi, M., Kashtan, H., Simkin, A., Chisin, R., Marguiles, J. et al. (1985). A prospective study on the effect of a shock-absorbing orthotic device on the incidence of stress fractures in military recruits. *Foot & Ankle*, 6(2):101–104.
- Mill, N.J. (2007). *Polymer foams handbook : engineering and biomechanics applications and design guide*. Oxford : Butterworth Heinemann
- Milliron, M. J., & Cavanagh, P. R. (1990). Sagittal plane kinematics of the lower body during distance running. In *Biomechanics of Distance Running* (Cavanagh, Ed.), pp. 65-100. Champaign, IL: Human Kinetics
- Milner, C.E., Davis, I.S., & Hamill, J. (2006). Free moment as a predictor of tibial stress fracture in distance runners. *Journal of Biomechanics*, 39(15); 2819–2825.
- Nigg, B.M. (1978). Die Belastung des menschlichen Bewegungsapparates aus der Sicht des Biomechanikers (load on the human locomotor system from a biomechanical perspective. In: Nigg, B.M. (Ed.), *Biomechanische Aspekte zu Sportplatzbelastungen*. Zurich: Juris Verlag.
- Nigg, B.M. (1986). Biomechanical aspects of running. In: *Biomechanics of Running Shoes*. Ed: Nigg, B.M. Champaign: Human Kinetics.

- Nigg, B.M., Bahlsten, H.A., Luethi, S.M., & Stokes, S. (1987). The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. *Journal of Biomechanics*, 20; 951-959.
- Nigg, B.M., Luethi, S., Denoth, J., & Stacoff, A. (1983). Methodological aspects of sport shoe and sport surface analysis. In: Matsui, H., Kobayashi, K. (Eds.), *Biomechanics VIII-B*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Nigg, B. M., & Segesser, B. (1992). Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction. *Medicine & Science in Sports and Exercise*. 24(5); 595-602.
- Nigg, B.M., Stefanyshyn, D., Cole, G., Stergiou, P., & Miller, J. (2003). The effect of material characteristics of shoe soles on muscle activation and energy aspects during running. *Journal of Biomechanics*, 36(4); 569-575.
- Nigg, B.M., Stergiou, P., Cole, G., Stefanyshyn, D. Mundermann, A., Humble, N. (2003). Effect of shoe inserts on kinematics, center of pressure, and leg joint moments during running. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 35(2); 314-319.
- O'Connor, F.G., Wilder, R.P., & Nirschl, R. (2001). *Textbook of Running Medicine*. NY: McGraw-Hill.
- Oeffinger, D., Brauch, B., Cranfill, S., Hisle, C., Wynn, C., Hicks, R., & Augsburg, S. (1999). Comparison of gait with and without shoes in children. *Gait & Posture*, 9(2); 95-100.
- Porter, D.A., & Schon, L.C. (2007). *Baxter's the foot and ankle in sport* (2nd ed.). PA: Mosby.
- Radzimski, A. D., Mundermann, A. & Sole, G. (2012). Effect of footwear on the external knee adduction moment – A systematic review. *The Knee*, 19(3); 163-175.
- Rao, U. B., & Joseph, B. (1992). The influence of footwear on the prevalence of flat foot, A survey of 2300 children. *Journal of Bone Joint Surgery*, 74(4); 525-527.
- Reyatt, T. (1992). The first step: know your feet. *SHAPE Magazine*.
- Richards, C., & Hollowell, T. (2011). *The complete idiot's guide to barefoot running*. NY: Penguin group.
- Robbins, S.E., & Gouw, G.J. (1991). Athletic footwear: unsafe due to perceptual illusions. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 23; 217-224
- Robbins, S.E., & Hanna, A.M. (1987). Running-related injury prevention through barefoot adaptations. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 19(2): 148-156.
- Robbins, S., & Waked, E. (1997). Hazard of deceptive advertising of athletic footwear. *British Journal of Sports Medicine*; 31:299–303.

- Robbins, S., Waked, E., & McClaran, J. (1995). Proprioception and stability: foot position awareness as a function of age and footwear. *Age Ageing*, 24(1): 67-72.
- Robbins, S.E., Waked, E., & Rappel, R. (1995). Ankle taping improves proprioception before and after exercise in young men. *British Journal of Sports Medicine*, 29; 242-247.
- Roberts, M.E., & Gordon, C.E. (2001). Orthopedic footwear: Custom-made and commercially manufactured footwear. *Foot and Ankle Clinics*, 6(2); 243-247.
- Robillard, J. (2010). *The Barefoot Running Book: A Practical Guide to the Art and Science of Barefoot and Minimalist Shoe Running* (2nd ed.). MI: Barefoot Running Press.
- Romer, B., Fox, J., Patel, J., Rehm, J., Shroyer, J., & Weimar, W. (2011). Influence of a Fixed Cadence on Shod and Barefoot Gait Kinematics. Paper presented at *the 17th Annual Gait & Clinical Movement Analysis Society Annual Meeting*, Bethesda, MI.
- Romer, B., Fox, J., Patel, J., Rehm, J., & Weimar, W. (2012). The Effect of Varying Cadences on Shod & Barefoot Gait Kinematics. Paper presented at the *2012 American Society of Biomechanics*, Gainesville, FL.
- Roy, J.P., & Stefanyshyn, D.J. (2006). Shoe midsole longitudinal bending stiffness and running economy, joint energy, and EMG. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 38(3); 562-569.
- Ryan, M., Fraser, S., McDonald, K., & Taunton, J. (2009). Examining the degree of pain reduction using a multielement exercise model with a conventional training shoe versus an ultraflexible training shoe for treating plantar fasciitis. *Physician and Sportsmedicine*, 37(4), 68-74.
- Sachithanandam, V., & Joseph, B. (1995). The influence of footwear on the prevalence of flat foot; A survey of 1846 skeletally mature persons. *Journal of Bone Joint Surgery*, 77(2); 254-257.
- Saladin, K.S. (2008). *Human Anatomy*, 2th ed. NY; McGraw-Hill.
- School of Physical Therapy, National Taiwan University, Taipei. (2004). *Biomechanics of running*. Retrieve from <http://www.pt.ntu.edu.tw>
- Sekizawa, K., Sandrey, M.A., Ingersoll, C.D., & Cordava, M.L. (2001). Effects of shoe sole thickness on joint position sense. *Gait & Posture*, 13(3); 221-228.
- Sharkey, N.A., Ferris, L., Smith, T.S., & Matthews, D.K. (1995). Strain and loading of the second metatarsal during heel-lift. *Journal of Bone Joint Surgery*, 77(7); 1050-1057.
- Shakoor, N., & Block, J.A. (2006). Walking barefoot decreases loading on the lower extremity joints in knee osteoarthritis. *Arthritis Rheumatism*, 54; 2923-2927.

- Shorten, M.R. (1993). The energetics of running and running shoes. *Journal of Biomechanics*, 26(Suppl. 1); 41-51.
- Snel, J.G., Delleman, N.J., Heerkens, Y.F., & van Ingen Schenau, G.J. (1985). Shock-absorbing characteristics of running shoes during actual running. In: Winter, D.A., Norman, R.W., Wells, R.P., Hayes, C., & Patla, A.E. (Eds.), *Biomechanics IX-B*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Sparks, K. E. (1974). *Physiological and mechanical alterations due to fatigue while performing a four-minute mile*. Unpublished paper, Indiana University.
- Squadrone, R., Gallozzi, C. (2009). Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49; 6-13.
- Stacoff, A., Reinschmidt, C., Nigg, B.M., van den Bogert, A.J., Lundberg, A., Denoth, J., & Stussi, E. (2001). Effects of shoe sole construction on skeletal motion during running. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 33(2); 311-319.
- Stacoff, A., Steger, J., Stussi, E., & Reinschmidt, C. (1996). Lateral stability in sideward cutting movements. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 28; 350-358.
- Staheli LT. (1991). Shoes for children: a review. *Pediatrics*, 88(2): 371-375.
- Stefanyshyn, D.J., Stergiou, P., Lun, V.M.Y., Meeuwisse, W.H., & Worobets, J.T. (2006). Knee angular impulse as a predictor of patellofemoral pain in runners. *The American Journal of Sports Medicine*, 34(11); 1844-1851.
- Taunton, J.E., Ryan, M.B., Clement, D.B., McKenzie, D.C., Lloyd-Smith, D.R., & Zumbo, B.D. (2002). A retrospective case-control analysis 2002 of running injuries. *British Journal of Sports Medicine*, 36(2); 95-101.
- Teeple, J. B. (1968). *A biomechanical analysis of running patterns of college women*. Master's thesis, Pennsylvania State University.
- Torg J.S., & Quendenfeld, T. (1971). Effect of shoe type and cleat length on incidence of severity of knee injuries among high school football players. *Research Quarterly*, 42(2): 203-211.
- Valiant, G.A. (1986). The effect of outsole pattern on basketball shoe traction. In J. Terauds (Ed) *Biomechanics in Sports III & IV*. DelMar, CA, Academic Publishers.
- van Mechelen, W. (1992). Running injuries a review of the epidemiological literature. *Sports Medicine*, 14(5); 320-335.

- Verdejo, R., & Mills, N.J. (2004). Heel-shoes interaction and the durability of EVA foam running-shoe midsoles. *Journal of Biomechanics*, 37; 1379-1386.
- Wakeling, J.M., Pascual, S.A., & Nigg, B.M. (2002). Altering muscle activity in the lower extremities by running with different shoes. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 34(9); 1529-1532.
- Williams, D.S., McClay, I.S., Hamill, J., & Buchanan, T.S. (2001). Lower extremity kinematic and kinetic differences in runners with high and low arches. *Journal of Applied Biomechanics*, 17; 153-63.
- Wolf, S., Simon, J., Patikas, D., Schuster, W., Armbrust, P., & Doderlein, L. (2008). Foot motion in children shoes – A comparison of barefoot walking with shod walking in conventional and flexible shoes. *Gait & Posture*, 27; 51-59.
- Wu, G. & Cavanagh, P.R. (1995). ISB recommendations for standardization in the reporting of kinematic data. *Journal of Biomechanics*, 28; 1257-1261.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมการฝึกวิ่งเท้าเปล่า (Barefoot running program)

สัปดาห์ที่ 1

- วันที่ 1-2 บริหารเท้าและข้อเท้าตามโปรแกรม และเดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 30 นาที
- วันที่ 3-4 บริหารเท้าและข้อเท้าตามโปรแกรม และเดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 30 วินาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 5 บริหารเท้าและข้อเท้าตามโปรแกรม และเดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 1 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 6-7 พัก

สัปดาห์ที่ 2

- วันที่ 1 บริหารเท้าและข้อเท้าตามโปรแกรม และเดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 1 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 2 บริหารเท้าและข้อเท้าตามโปรแกรม และเดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 2 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 3 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 2 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 4-5 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 3 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 6-7 พัก

สัปดาห์ที่ 3

- วันที่ 1 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 3 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 2 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 2 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 3 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 3 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 4-5 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 5 นาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 4 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 6-7 พัก

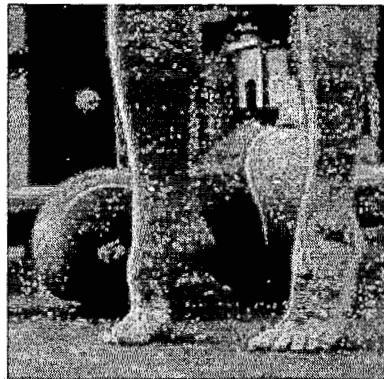
สัปดาห์ที่ 4

- วันที่ 1 เดินเท้าเปล่าบนลู่วิ่งกล 30 วินาที แล้ววิ่งเหยาะๆ 5 นาที หลังจากนั้นให้เดินสลับกับวิ่งจนครบ 30 นาที
- วันที่ 2-3 อบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่งกล 10 นาที
วิ่งบนลู่วิ่งกล ระยะทาง 1.5 กม.
cool down ด้วยการเดินบนลู่วิ่งกล 10 นาที
- วันที่ 4-5 อบอุ่นร่างกายด้วยการเดินบนลู่วิ่งกล 10 นาที
วิ่งบนลู่วิ่งกล ระยะทาง 2 กม.
cool down ด้วยการเดินบนลู่วิ่งกล 10 นาที
- วันที่ 6-7 พัก

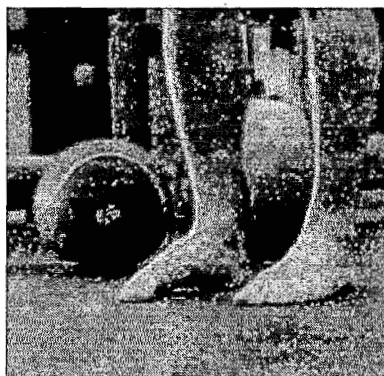
โปรแกรมการบริหารเท้า และข้อเท้า

ปฏิบัติแต่ละท่าจำนวน 20 ครั้ง ทำซ้ำ 3 เซ็ต

1. Heel raise ให้ยืนเขย่งเท้าขึ้นค้างประมาณ 5 วินาที



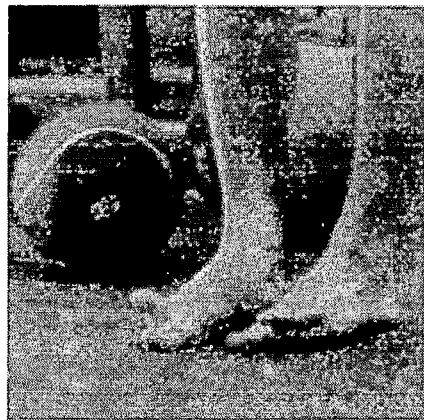
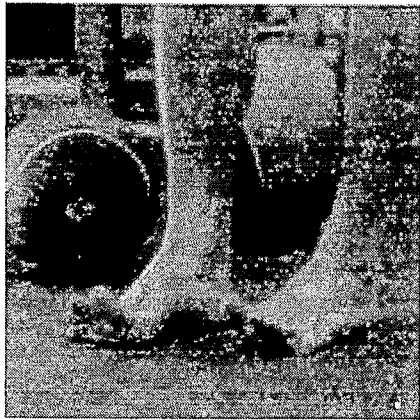
2. Toe grip จิกนิ้วเท้าค้างประมาณ 5 วินาที



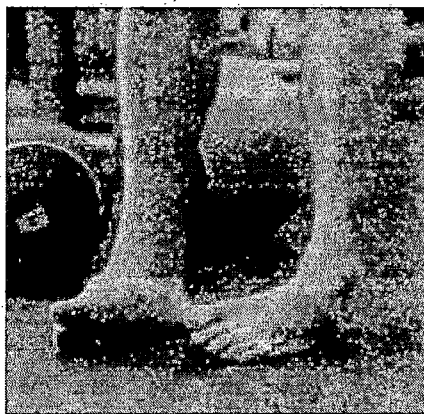
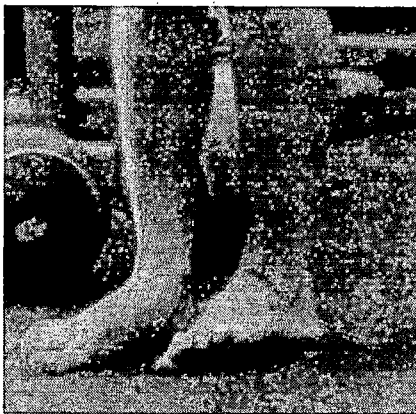
3. Dorsi/plantar flexion กระดกข้อเท้าขึ้นและถีบปลายเท้าลง



4. Toe spread/tap



5. Exaggerated eversion/inversion



6. Grabbing towel on the floor with toes pass to other foot

