



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

ปริญญา

วิทยาศาสตร์การกีฬา

โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impulse during Running

นามผู้วิจัย นายภาณุพล รัตนปนัดดา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิเมณฑกุล, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(รองศาสตราจารย์สุพิตร สมานิติ, Ph.D.)

ประธานสาขาวิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิเมณฑกุล, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะที่วิ่ง

Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impulse during Running

โดย

นายภาณุพล รัตนปนัดดา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา)

พ.ศ. 2552

กาญจนา รัตนปนัดดา 2552: ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้น และอิมพัลส์ในขณะวิ่ง ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วิทยาศาสตร์การกีฬา) สาขา วิทยาศาสตร์การกีฬา โครงการสหวิทยาการระดับบัณฑิตศึกษา อาจารย์ที่ปรึกษา วิทยานิพนธ์หลัก: ผู้ช่วยศาสตราจารย์สิริพร ศศิณทลกุล, Ph.D. 111 หน้า

การบาดเจ็บของเท้าและขาส่วนล่างมีความสัมพันธ์กับแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อเท้าใน ขณะที่ปลายเท้าผลักพื้น การสวมรองเท้าวิ่งที่มีวัสดุคูดซับแรงกระแทกในบริเวณพื้นรองเท้า ส่วนหน้าจึงน่าจะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้นและช่วยป้องกันการ บาดเจ็บได้ การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงความแตกต่างของวัสดุที่ใช้ทำพื้นรองเท้า ส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง กลุ่มตัวอย่างเป็นเพศชายที่ออกกำลังกาย โดยการวิ่งเป็นประจำ อายุ 17-25 ปี จำนวน 30 คน ให้ทุกคนสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้า ส่วนหน้าทำจากถุงอากาศและทำจากโฟม(phyton) แล้วจึงทำการวิ่งผ่านแผ่นวัดแรงด้วยความเร็ว 3.5 - 4 เมตร/วินาที และวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ในขณะวิ่งเท้าของกลุ่ม ตัวอย่างต้องสัมผัสกลางแผ่นวัดแรง ซึ่งแผ่นวัดแรงได้ทำการบันทึกแรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำต่อ เท้าในแกนตั้งและแกนหน้า-หลัง จากนั้นจึงทำการหาค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาในแกนตั้ง ค่าสูงสุดของแรงปฏิกิริยาในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง วิเคราะห์หาความ แตกต่างทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ และการวิเคราะห์ความ แปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ โดยกำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

ผลการวิจัยพบว่า รองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศไม่สามารถลดแรง ปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งได้ดีกว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม(phyton) ไม่ว่าจะวิ่งเร็วหรือช้า ดังนั้น รองเท้าที่มีถุงอากาศรองที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าไม่ได้มีประสิทธิผลในการ ป้องกันการบาดเจ็บของเท้าได้ดีกว่ารองเท้าที่มีโฟม(phyton)รองที่พื้นรองเท้าส่วนหน้า นอกจากนี้ รองเท้าวิ่งที่มีถุงอากาศรองที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหลัง ไกล่เคียงกับปริมาณอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้า

Panupol Ratanapanadda 2009: Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impulse during Running. Master of Science (Sports Science), Major Field: Sports Science, Interdisciplinary Graduate Program. Thesis Advisor: Assistant Professor Siriporn Sasimontonkul, Ph.D. 111 pages.

The injuries of the foot and lower extremities relate to ground reaction force (GRF) applied to the foot during push-off phase of running. Wearing running shoes inserted with cushioning material in the midsole of the forefoot may help prevent injury. Therefore, this research aimed to study the effect of running shoes, where either phylon or encapsulated air were inserted in the midsole at the forefoot, on the magnitudes of GRF and impulse. Thirty male runners, aged 17-25 years old, participated in the study. They wore each shoe while ran across a forceplate at a speed of 3.5-4 m/s and at a fastest speed. Moreover, their right foot had to hit in the middle of the forceplate to record vertical GRF and anterior-posterior GRF. The sampling rate of GRF was set at 1000 Hz. Next, maximum vertical GRF, antero-posterior GRF and horizontal impulse were computed. The statistical differences were tested using Two-way ANOVA with repeated measure and Two-way MANOVA with repeated measure. The significant was set at .05

The results showed that the shoes inserted with air in the midsole of the forefoot did not decrease vertical GRF more than shoes inserted with phylon. Therefore, shoes with encapsulated air in their forefoot are not more effective in injury prevention of the foot than phylon shoes. Moreover, both shoes induced an equal amount of breaking and push-off impulses.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

____ / ____ / ____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เป็นอย่างดี เนื่องด้วยความกรุณาอย่างยิ่งจากคณาจารย์หลายท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สิริพร ศศิเมณฑกุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก รองศาสตราจารย์ ดร.สุพิตร สมานิติโต กรรมการวิชาวร่วม ที่ได้กรุณาให้ช่วยเหลือให้คำปรึกษา และคอยเสนอแนะ ตลอดจนตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้มีความถูกต้องสมบูรณ์ และมีคุณค่าทางวิชาการ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ และ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้กับผู้วิจัย

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ในโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิตที่คอยอบรม ส่งเสริม และค้ำชู ตลอดจนการศึกษาและการทำวิจัย และขอขอบพระคุณภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ(องครักษ์) ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการยืมเครื่องมือเพื่อเก็บข้อมูลในการวิจัย รวมถึงเจ้าหน้าที่ของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่คอยช่วยเหลือตลอดการวิจัยครั้งนี้ ตลอดจนขอขอบคุณเพื่อน พี่ และน้อง ในคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาทุกท่านที่กรุณาให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ตลอดงานวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยขอบูชาพระคุณ คุณพ่อพนาศักดิ์ คุณแม่จิราพร รัตนปนัดดา บุพการีผู้ให้ทั้งชีวิต การอบรมเลี้ยงดูและให้โอกาสทางการศึกษาแก่ผู้วิจัย ขอขอบคุณพี่ พนาภรณ์ ภาสกร ภมรชัย รัตนปนัดดา ที่เป็นกำลังใจและสนับสนุนด้วยดีเสมอมา คุณประโยชน์ใดๆที่เกิดจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ผู้วิจัยขอมอบแด่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาแล้วทั้งหมด

ภาณุพล รัตนปนัดดา

มกราคม 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(3)
สารบัญภาพ	(6)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(9)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ในการวิจัย	4
การตรวจเอกสาร	7
อุปกรณ์และวิธีการ	31
อุปกรณ์	31
วิธีการ	32
ผลและวิจารณ์	39
ผล	39
วิจารณ์	56
สรุปและข้อเสนอแนะ	60
สรุป	60
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ภาคผนวก	68
ภาคผนวก ก หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือชุดอุปกรณ์วัดเวลาปฏิกิริยา	69
ภาคผนวก ข บันทึกข้อความขอใช้สถานที่และยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย	71
ภาคผนวก ค หนังสือแสดงความยินยอมการเข้าร่วมในโครงการวิจัยและรายละเอียดการวิจัย	73
ภาคผนวก ง วิธีการทดสอบลักษณะของอุ้งเท้า (Navicular height)	77
ภาคผนวก จ ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล	79

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ฉ ตารางบันทึกผลการเข้าร่วมโครงการวิจัย	83
ภาคผนวก ช การเก็บข้อมูล	85
ภาคผนวก ซ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น	87
ภาคผนวก ฅ การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติ	96
ประวัติการศึกษา และการทำงาน	110

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แสดงความแตกต่างทางด้านkinematicส์และkineticส์ของการวิ่งกับการเดิน	10
2	การทำงานของกล้ามเนื้อระยะกึ่งส่วนล่างที่ทำให้เกิดการกระดกข้อเท้าขึ้น, งอเข้า และงอสะโพก ในช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้น	13
3	ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของลักษณะทางกายภาพ (อายุ น้ำหนัก และส่วนสูง) และความเร็วที่ใช้ในการวิ่ง	40
4	ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)	41
5	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็น โฟม (Phylon)	42
6	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกน หน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็น โฟม	47
7	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ ในแกนหน้า-หลังของระยะขับเคลื่อนและระยะหยุด เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็น โฟม	49
ตารางผนวกที่		
ฅ1	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการวิ่ง เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็น โฟม	97

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฅ2	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เท่าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะขับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม	97
ฅ3	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เท่าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะหยุด เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม	98
ฅ4	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เท่าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะขับเคลื่อน เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	98
ฅ5	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เท่าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะหยุด เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	99
ฅ6	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม โดยวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	100
ฅ7	แสดงค่า t เมื่อพบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งขณะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งด้วยวิธี Paired t-test	101
ฅ8	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระยะขับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม ขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	102
ฅ9	แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง ระยะขับเคลื่อน โดยใช้ Paired t-test	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ฅ10	แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระยะจับเคลื่อน โดยใช้ Paired t-test	104
ฅ11	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อ ทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกน หน้า-หลัง ระยะหยุด เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ และเป็นโฟม ขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและ ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	105
ฅ12	แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้น สูงสุดในแกนหน้า-หลัง ระยะหยุดโดยใช้ Paired t-test	106
ฅ13	แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระยะหยุด โดยใช้ Paired t-test	107
ฅ14	แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด ในแกนหน้า-หลัง ระหว่างจับเคลื่อนกับระยะหยุดโดยใช้ Paired t-test	108
ฅ15	แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระหว่างจับเคลื่อนกับระยะหยุดโดยใช้ Paired t-test	109
ฅ16	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของ ผลต่างระหว่างอิมพัลส์ระยะหยุดกับระยะจับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่ พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม	110

สารบัญญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	วงจรรว้งช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น	8
2	วงจรรว้งช่วงที่เท้าลอยพื้น	8
3	ระยะห่างจากเท้าที่สัมผัสพื้นถึงศูนย์กลางมวลของร่างกาย (COM)	9
4	แรงที่เกิดขึ้นในช่วงการออกตัว	12
5	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่งทั้ง 3 แขน	14
6	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งแบบสั้นเท้ากระทบพื้น	16
7	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งของนักวิ่งที่วิ่งลงกลางเท้าหรือปลายเท้า	17
8	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า - หลังกับเวลา	18
9	พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับเวลา	24
10	ตัวอย่างโครงสร้างของรองเท้า	25
11	องค์ประกอบของรองเท้า	27
12	รองเท้าที่หือ Nike รุ่น Air max 180+II(Running Shoe) For Men	31
13	รองเท้าที่หือ Nike รุ่น Air max 360 II SL (Running Shoe) For Men	32
14	ตำแหน่งของชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด	34
15	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	43
16	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	44
17	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วต่างกัน ในขณะที่สวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม	45
18	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วต่างกัน ในขณะที่สวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถูงอากาศ	46
19	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	51
20	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
21	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม และวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน	53
22	กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ และวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน	54
ภาพผนวกที่		
ง1	แสดงความสูงของกระดูก navicular (navicular height)	78
จ1	การจัดวางอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์เพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูล	80
จ2	ทางวิ่งที่เชื่อมต่อเข้าสู่ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ระยะทางยาว 40 เมตร	80
จ3	คอมพิวเตอร์พร้อม โปรแกรมวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้น (APAS)	81
จ4	แผ่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น AMTI รุ่น OR6-7-4000 Serial No.3813 ที่ฝังไว้ที่พื้นห้อง	81
จ5	ชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared Timer)	82
ช1	แสดงการเก็บข้อมูล	86
ช1	แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งที่เกิดขึ้นเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมขณะวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	88
ช2	แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	89
ช3	แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	90
ช4	แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	91
ช5	แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	92

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ซ6 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	93
ซ7 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	94
ซ8 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	95

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

GRF	=	แรงปฏิกิริยาจากพื้น (ground reaction force)
peakGRF	=	แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด (peak ground reaction force)
VGRF	=	แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง (vertical ground reaction force)
A-PGRF	=	แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง (antero-posterior ground reaction force)
COM	=	จุดศูนย์กลางมวล (center of mass)
ROM	=	ช่วงการเคลื่อนไหว (range of motion)
BW	=	น้ำหนักตัว (body weight)
Cushioning	=	ส่วนดูดซับแรงที่เสริมเข้าไปในพื้นที่รองเท้าส่วนกลาง
Forefoot Midsole	=	พื้นรองเท้าส่วนกลางที่มีส่วนดูดซับแรงบริเวณปลายเท้า (Forefoot Cushioning)
Air	=	ส่วนดูดซับแรงแบบถุงอากาศ
Airmax180	=	รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม
Airmax360	=	รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ
%Stance	=	ร้อยละของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น

ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impulse during Running

คำนำ

การวิ่งเป็นที่นิยมทั้งในการแข่งขันกีฬาและกิจกรรมการออกกำลังกาย โดยในขณะวิ่งการเคลื่อนไหวจะถูกแบ่งออกเป็นสองช่วงด้วยกัน คือช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น และช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้น ซึ่งในช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้นร่างกายจะถูกแรงดึงดูดของโลกและแรงต้านอากาศมากระทำ แต่ในช่วงที่เท้าสัมผัสกับพื้นนั้นจะมีแรงภายนอกเข้ามากระทำกับร่างกายเพิ่มขึ้นอีก นั่นคือ แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force; GRF)

เมื่อพิจารณาถึงลักษณะภายนอกของเท้า อาจเห็นได้ว่า เป็นเพียงอวัยวะเล็กๆ แต่ในความเป็นจริงแล้ว เท้าประกอบด้วยกระดูกข้างละ 26 ชิ้น กล้ามเนื้อและเอ็นอีก 32 มัด และข้อต่ออีก 30 ข้อ โดยกระดูกและข้อต่อทั้งหมดถูกยึดไว้ด้วยเอ็นยึดกระดูก (Ligament) เมื่อนับรวมจำนวนกระดูกเท้าทั้งสองข้างจะพบว่า มีจำนวนถึงหนึ่งในสี่ของจำนวนกระดูกทั่วร่างกาย กระดูกเล็กๆเหล่านี้ทำงานประสานกันอย่างน่าทึ่งในแต่ละก้าวของการเดิน เท้าของมนุษย์จึงจัดเป็นอวัยวะสำคัญของร่างกายที่ทำงานหนักมากเป็นพิเศษ เนื่องจากต้องรับน้ำหนักของร่างกายทั้งหมดในขณะที่เรายืนหรือเดิน ยิ่งไปกว่านั้นในขณะที่เราวิ่ง แต่ละก้าวซึ่งจะใช้เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นประมาณ 0.2 – 0.3 วินาที จะมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นมากระทำต่อเท้าในทุกๆการก้าวเท่านั้น ซึ่งในการวิ่งตามปกตินักกีฬาจะวิ่งประมาณ 300 – 400 ก้าวต่อ 1 กิโลเมตร จึงเป็นที่ยอมรับกันว่าการบินนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับการบาดเจ็บอันเป็นผลมาจากแรงปฏิกิริยาจากพื้นในช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่ง โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง (Vertical Ground Reaction Force; VGRF) ที่เกิดขึ้นและกระทำต่อร่างกายขณะที่ทำการวิ่งจ็อกกิ้ง (Jogging) จะมีค่ามากถึง 2-3 เท่าของน้ำหนักตัว (Body Weight; BW) (Novacheck, 1998) และค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวแกนตั้งนี้จะเพิ่มสูงขึ้นตามความเร็วในการวิ่งที่เพิ่มขึ้นด้วย (Keller *et al.*, 1996) ทั้งนี้การวิ่งด้วยความเร็วเป็นประจำจะทำให้เกิดการบาดเจ็บอันเนื่องมาจากแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด (Peak Ground Reaction Forces) นี้มีค่าเพิ่มมากขึ้น (Hreljac *et al.*, 2000)

จากการศึกษาวิจัยพบว่า รูปแบบของเท้าที่กระทบพื้นสัมพันธ์กับความเร็วในการวิ่ง โดยในขณะวิ่งช้าๆนักวิ่งจะวิ่งแบบที่มีสันเท้ากระทบพื้น (Heel Strike) ก่อนแล้วจึงใช้ปลายเท้าหลักพื้น เมื่อวิ่งเร็วขึ้นนักวิ่งจะใช้ปลายเท้าหรือกลางเท้ากระทบพื้น (Forefoot or Midfoot Strike) ทั้งนี้มีการศึกษาที่อธิบายว่าที่ความเร็วในการวิ่งช้าๆนักวิ่งทุกคนจะวิ่งลงสันเท้า แต่ที่ความเร็วมากกว่า 3 เมตร/วินาที นักวิ่งจะวิ่งแบบลงกลางเท้าและปลายเท้ามากขึ้น ที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที 68 เปอร์เซ็นต์ของนักวิ่งจะวิ่งแบบลงกลางเท้าหรือปลายเท้า (Keller *et al.*, 1996) นอกจากนี้ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นในแต่ละก้าว (Stance time) จะขึ้นอยู่กับความเร็วที่ใช้วิ่งโดยถ้าความเร็วในการวิ่งสูงขึ้นระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นจะสั้นลง (Munro *et al.*, 1987)

จากการศึกษาแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำกับร่างกายส่วนล่างพบว่าในขณะที่สันเท้ากระทบพื้น (Impact phase) นั้นแรงปฏิกิริยาจากพื้นจะมีค่าน้อยกว่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงปฏิกิริยาจากพื้นในช่วงที่ปลายเท้าหลักพื้น (Active phase) ในขณะวิ่ง (Cole *et al.*, 1995) ซึ่งสอดคล้องกับ Scott (1990) and Nigg (2001) ที่พบว่า แรงกระแทกในขณะที่สันเท้าสัมผัสพื้นในขณะวิ่งไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บจากการวิ่ง ในขณะที่แรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลายเท้าหลักพื้นมีค่าสูงกว่าจึงน่าจะเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของเท้าและข้อเท้ามากกว่า (Nigg, 2001)

รองเท้าวิ่งในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้สามารถปกป้องเท้าจากแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในขณะที่นักกีฬาวิ่ง โดยในขณะที่วิ่งจะมีแรงจากพื้นมากระทำกับเท้าและร่างกายส่วนล่างตลอดเวลาที่เท้าสัมผัสกับพื้น ซึ่งรองเท้าวิ่งถูกออกแบบมาเพื่อช่วยลดหรือกระจายแรงกระแทกที่เกิดขึ้นขณะที่เท้าสัมผัสพื้น โดยโครงสร้างของรองเท้าแบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก ได้แก่ พื้นรองเท้าส่วนกลาง (Midsole), พื้นรองเท้าส่วนนอก (Outsole), พื้นรองเท้าส่วนใน (Insole) และส่วนบนของรองเท้า (Upper) ทั้งนี้พื้นรองเท้าส่วนกลางของรองเท้ากีฬาจะถูกพัฒนามาเพื่อดูดซับแรงกระแทกจากพื้นในขณะที่เท้าสัมผัสพื้นจึงมักเรียกว่า “ส่วนดูดซับแรง (Cushioning)” ซึ่งวัสดุที่ใช้หากมีความนุ่มและเปลี่ยนรูปได้จะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นได้ดี (Geritsen *et al.*, 1995; Lafortune *et al.*, 1996) ซึ่งโดยทฤษฎีแล้ว พื้นที่เหมาะสมจะมีการเปลี่ยนรูปมากกว่าพื้นที่ยังทำให้ลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่กระทำต่อร่างกายได้ดีกว่า (Barnes and Smith, 1993) โดยการที่วัสดุส่วนนี้ถูกบีบอัดในขณะที่เท้ากระทบพื้นจะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด (Peak GRF) ได้ และเมื่อควบคุมให้ปัจจัยต่างๆ เหมือนกันพื้นรองเท้าส่วนกลางที่เปลี่ยนรูปได้ดีกว่านี้จะลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดได้มากกว่า (Aert and De Clercq, 1993) จึงเป็นที่ยอมรับกันในทางทฤษฎีว่า “รองเท้าที่มี Cushioning มากความสามารถในการดูดซับแรงก็จะมาก”

Cushioning ที่เป็นที่รู้จักกันมากที่สุดก็คือแบบถุงอากาศที่พื้นรองเท้าส่วนกลาง (Air midsole) โดย Nike เป็นผู้ผลิตแห่งแรกที่นำเสนอตั้งแต่ปี ค.ศ.1979 โดยใช้ถุงอากาศ (Air pockets) ไล่ลงไปเป็นแคปซูลในพื้นรองเท้าส่วนกลางเพื่อเพิ่มการดูดซับแรง (Frey, 1997) ซึ่งต่อมาได้พัฒนา รูปแบบของ Air midsole ด้วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของ Air และตำแหน่งของ Air ในพื้นรองเท้า ซึ่งในอดีตนั้นจะมุ่งเน้นไปในส่วนของการลดแรงกระแทกในช่วงสั้นเท้ากระทบพื้น (Heel impact) เป็นสำคัญจึงมีการนำ Air cushioning ที่ใช้เป็นตัวดูดซับแรงกระแทกไว้บริเวณสั้นเท้าเท่านั้น แต่จากการศึกษาต่อมาทำให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าที่ได้รับในช่วงปลายเท้าผลักพื้น (Push-off) นั้นมีค่าที่สูงกว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าที่ได้รับในช่วงสั้นเท้ากระทบพื้นมาก ส่งผลให้การผลิต รองเท้าในระยะหลังมีการนำ Air cushioning มาใส่ไว้บริเวณปลายเท้าด้วยเพื่อลดแรงปฏิกิริยาจาก พื้นเท้าที่กระทำกับเท้าในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้น ทั้งนี้รองเท้ากีฬาในปัจจุบันได้มี Midsole cushioning หลากหลายชนิดซึ่งจะพบทั้งในบริเวณส่วนของสั้นเท้า, ปลายเท้า หรือทั้งสองส่วนขึ้นอยู่กับปริมาณ ของแรงกระแทกที่ต้องการทำให้ลดน้อยลงในขณะที่เล่นกีฬาต่างๆ (Frey, 1997)

ทั้งนี้ปัญหาที่พบในการออกแบบรองเท้ากีฬา คือขาดผู้มีส่วนร่วมในการพิจารณาและวิเคราะห์ การออกแบบรองเท้ากีฬา ซึ่งควรจะต้องประกอบด้วยผู้ผลิตรองเท้ากีฬา นักออกแบบ นักชีวกลศาสตร์ และ แพทย์ออร์โธปิดิกส์ นอกจากนี้ยังขาดงานวิจัยที่ค้นหาสาเหตุและผลกระทบที่เกิดขึ้นจากรองเท้า แบบต่างๆ ปัจจุบันนักวิจัยเชื่อว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นเท้าที่กระทำต่อเท้าในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้นน่าจะ มีส่วนเกี่ยวข้องกับการบาดเจ็บของเท้ามากกว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดขึ้นในขณะที่สั้นเท้า กระแทกพื้น (Nigg, 2001) ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะศึกษาถึงรองเท้าที่มีถุงอากาศสอดอยู่ในพื้น รองเท้าส่วนกลางของปลายเท้าหรือที่พื้นส่วนหน้าของรองเท้าว่าจะสามารถลดแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้นได้ดีกว่าวัสดุอื่นหรือไม่ โดยเปรียบเทียบกับแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดขึ้น ในขณะที่วิ่งโดยการสวมรองเท้าที่ไม่มีถุงอากาศรองรับบริเวณปลายเท้า สำหรับการวิจัยครั้งนี้จะ ทำการศึกษากับบุคคลที่ทำการออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำ โดยในขณะที่วิ่งให้ใส่รองเท้ากีฬา ที่พื้นรองเท้าส่วนกลางมีการสอดโฟมชนิด Phylon หรือสอดถุงอากาศในบริเวณปลายเท้า ซึ่ง ผลการวิจัยครั้งนี้จะทำให้เข้าใจกลไกการป้องกันการบาดเจ็บของเท้าโดยรองเท้าวิ่ง

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด (Peak Ground Reaction Force) และอิมพัลส์ในขณะวิ่ง เมื่อสวมรองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นฉองอากาศ กับรองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (Phylon) ขณะวิ่งด้วยความเร็ว 3.5 - 4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

2. เพื่อหาค่าความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง เมื่อสวมรองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นฉองอากาศ กับรองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็น โฟม (Phylon) ขณะวิ่งด้วยความเร็ว 3.5 - 4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

สมมติฐานในการวิจัย

พื้นรองเท้าส่วนหน้าที่แตกต่างกัน มีผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในขณะวิ่งแตกต่างกัน

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในขณะวิ่ง เมื่อผู้วิ่งสวมรองเท้าวิ่งที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำจากวัสดุที่แตกต่างกัน โดยมีขอบเขตของการวิจัยดังนี้

1. กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ เป็นบุคลากรและนิสิตของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่ใช้บริการศูนย์ออกกำลังกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาเขตกำแพงแสน และออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำ (ออกกำลังกายโดยการวิ่งอย่างน้อย 45 นาทีต่อวัน, 3 วันต่อสัปดาห์) เพศชาย อายุ 17 – 25 ปี จำนวน 30 คน จากกลุ่มประชากรทั้งหมด 113 คน กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มแบบจำเพาะเจาะจง (Purposive Random Sampling) ภายใต้เงื่อนไข คือ ใส่รองเท้าเบอร์ 9 มีลักษณะของอุ้งเท้าปกติ ไม่มีโรคและอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง

2. ตัวแปรที่ใช้ในการศึกษาค้นคว้า

2.1 ตัวแปรอิสระ (Independent variable) คือ พื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศกับพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม (Phylon)

2.2 ตัวแปรตาม (Dependent variable) คือ แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง (Vertical GRF; VGRF), แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง (Anteroposterior GRF) และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง (Horizontal impulse)

ข้อตกลงเบื้องต้น

กลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมในการวิจัยครั้งนี้ ต้องผ่านเกณฑ์เงื่อนไขที่กำหนด คือ ผ่านการตรวจลักษณะของอุ้งเท้าจากนักกายภาพบำบัดว่ามีลักษณะของอุ้งเท้าปกติ ไม่มีโรคและอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง โดยกลุ่มตัวอย่างจะต้องเซ็นต์ไบยินยอมเข้าร่วมวิจัย

นิยามศัพท์

วัสดุดูดซับแรงที่พื้นรองเท้าส่วนหน้า (Forefoot midsole หรือ Forefoot cushioning) คือ วัสดุที่ใส่ไว้ในพื้นรองเท้าส่วนกลางของรองเท้าบริเวณปลายเท้า เพื่อช่วยดูดซับแรงกระแทกที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลายเท้าสัมผัสพื้น โดยรองเท้าที่ใช้ในการวิจัยนี้มีพื้นรองเท้าส่วนหน้า 2 แบบ คือเป็น ถุงอากาศ (Encapsulated air) และผลิตจากโฟม EVA ที่ผ่านการบีบอัดและให้ความร้อน ที่เรียกว่า Phylon

แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force) หมายถึง แรงปฏิกิริยาที่พื้นกระทำกับเท้า ซึ่งเป็นแรงที่มีขนาดเท่ากันในทิศตรงกันข้ามกับแรงกิริยาของเท้าที่กระทำกับพื้น และเกิดขึ้นในช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นในขณะที่วิ่ง ซึ่งในการวิจัยนี้ทำการศึกษาถึง แรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนตั้ง (Peak vertical ground reaction force; peakVGRF) และแรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนหน้า-หลัง (Peak Anteroposterior ground reaction force; peak A-PGRF)

อิมพัลส์ (Impulse) คือ ผลคูณของแรงกระทำกับระยะเวลาที่แรงนั้นกระทำโดยอิมพัลส์ในการศึกษาครั้งนี้เป็นอิมพัลส์ที่เกิดขึ้นในแกนหน้า-หลัง (Anterior-posterior)

การตรวจเอกสาร

ผู้วิจัยได้ค้นคว้าเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในหัวข้อต่างๆดังนี้

1. ชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง
2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง
3. องค์ประกอบของรองเท้ากีฬา

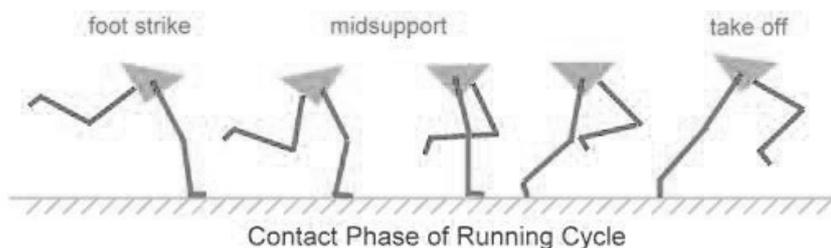
ชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง

การวิ่งเป็นหนึ่งในการออกกำลังกายที่ได้รับความนิยมอย่างสูงและยังเป็นส่วนหนึ่งของการอบอุ่นร่างกายหรือโปรแกรมการฝึกในกีฬาหลายประเภท ซึ่งในขณะวิ่งนั้นการเคลื่อนไหวจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ช่วงด้วยกันคือ ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) และช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้น (Swing phase) โดยในช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้นนั้นแรงดึงดูดของโลก (Gravity) และแรงต้านทานจากอากาศจะเป็นแรงภายนอกที่มากระทำกับร่างกาย ส่วนในช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นนั้นจะมีแรงภายนอกเข้ามากระทำกับร่างกายเพิ่มขึ้นอีกคือ แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground Reaction Force) (Watanatada, 2001)

วงจรการวิ่ง

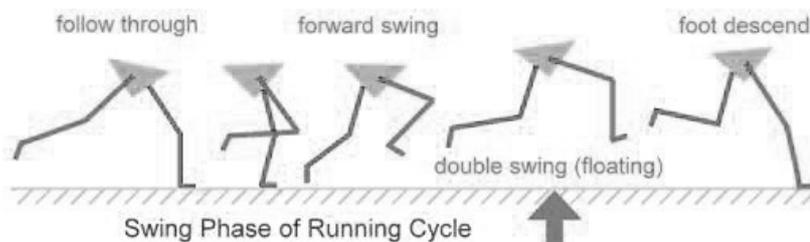
แบ่งออกเป็น 2 ช่วง คือ

1. ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Contact phase) อาจเรียกว่า Support phase หรือ Drive phase เป็นช่วงที่เท้าข้างใดข้างหนึ่งสัมผัสกับพื้น ในกลุ่มนักวิ่งที่วิ่งแบบส้นเท้ากระทบพื้น (Heel strike) นั้นในช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นจะเริ่มเมื่อส้นเท้ากระทบพื้นไปจนถึงปลายเท้าลอยพ้นพื้น ซึ่งช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นอาจแบ่งเป็น 3 ช่วงย่อย (ภาพที่ 1) คือ ช่วงที่เท้ากระทบพื้น (Foot strike), ช่วงที่เท้ารับน้ำหนักของร่างกาย (Midsupport) และช่วงที่ผลักปลายเท้า (Take off)



ภาพที่ 1 วงจรการวิ่งช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น

2. ช่วงที่เท้าลอยจากพื้น (Swing phase) เป็นช่วงที่ระยางค์ส่วนล่างลอยอยู่ในอากาศ โดยเริ่มเมื่อเท้าลอยพ้นพื้นไปจนถึงเมื่อเท้ากระทบพื้นอีกครั้ง ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 4 ช่วงคือ ช่วงแกว่งเท้าไปด้านหลัง (Follow through), ช่วงแกว่งเท้าไปด้านหน้า (Forward swing), ช่วงที่เท้าทิ้ง 2 ข้างลอยพ้นพื้น (Double swing) และช่วงที่เท้าลงสู่พื้น (Foot descend) (ภาพที่ 2)



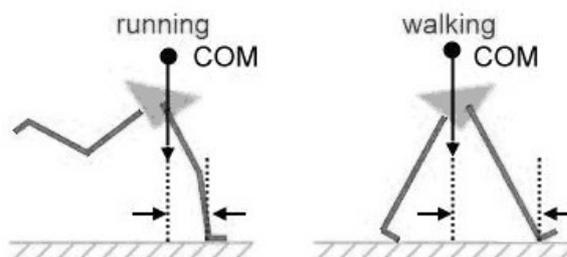
ภาพที่ 2 วงจรการวิ่งช่วงที่เท้าลอยพ้นพื้น

ลักษณะของการวิ่ง

การวิ่งขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่างคือ ความยาวของการก้าว (Stride length) และความถี่ของการก้าว (Stride frequency) ซึ่งเมื่อปัจจัยทั้งสองนี้มีค่ามาก ความเร็วในการวิ่งก็จะมีค่ามากเช่นเดียวกัน โดยเมื่อเราพิจารณาในแต่ละปัจจัยจะพบว่า ความยาวของการก้าวจะขึ้นกับความยาวของขา (Leg length) ช่วงการเคลื่อนไหวของสะโพก (Range of motion of hip) และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเหยียดขา (Leg extensors) กล่าวคือ ถ้าความยาวของขามาก ช่วงการเคลื่อนไหวของสะโพกมากหรือสะโพกสามารถเคลื่อนไหวได้ในช่วงกว้าง และกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเหยียด

ขาแข็งแรงมาก ก็จะทำให้ความยาวในการก้าวมาก ส่วนความถี่ของการก้าวขึ้นอยู่กับความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อและทักษะในการวิ่ง กล่าวคือ ถ้ากล้ามเนื้อมีความเร็วในการหดตัวสูง และมีทักษะในการวิ่งสูงก็จะทำให้มีความถี่ในการก้าวมาก

ทั้งนี้จากการวิ่งที่ความเร็วมากกว่า 7 เมตรต่อวินาที จะพบว่าความถี่ของการก้าวจะมีค่ามากกว่าความยาวในการก้าวอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้ยังพบว่าในการวิ่งด้วยความเร็วสูง ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นจะลดลง แต่เวลาที่เท้าลอยพื้นพื้นจะเพิ่มมากขึ้น โดยสังเกตว่าช่วงที่เท้ากระทบพื้นเท้าจะอยู่ทางด้านหน้าศูนย์กลางมวลของร่างกาย (COM of the body) แต่ระยะห่างจากเท้าที่สัมผัสพื้นถึงศูนย์กลางมวลของร่างกายในการวิ่งจะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีการเดิน ซึ่งเมื่อระยะห่างน้อย ความเร็วในการวิ่งก็จะมีค่ามาก (ภาพที่ 3) เนื่องจากแรงต้านทานการหมุน (Moment of inertia) ลดลง (Hamilton and Luttgens, 2002; Adelaar, 1986; Cavanagh, 1987) นอกจากนี้การวิ่งด้วยเท้าเปล่ายังทำให้ระยะเวลาที่เท้าคว่ำสูงสุด (Duration of maximum foot pronation) มากเมื่อเปรียบเทียบกับ การวิ่งด้วยการสวมใส่รองเท้า



ภาพที่ 3 ระยะห่างจากเท้าที่สัมผัสพื้นถึงศูนย์กลางมวลของร่างกาย (COM)

การเปรียบเทียบการวิ่งกับการเดิน

ความแตกต่างระหว่างการวิ่งกับการเดิน คือ ในการวิ่งจะมีจังหวะที่เท้าทั้งสองข้างลอยจากพื้น (Double swing phase) ในขณะที่การเดินจะมีจังหวะที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น (Double support phase) กล่าวคือ ในการวิ่งจะมีช่วงที่ทุกส่วนของร่างกายลอยอยู่ในอากาศแต่ในการเดินจะต้องมีอย่างน้อยหนึ่งส่วนของร่างกาย (เท้า) ที่สัมผัสกับพื้น นอกจากนี้ยังมีความแตกต่างทางด้านคิเนมาติกส์ (Kinematic) และคิเนติกส์ (Kinetic) ของการวิ่งกับการเดินอีก ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างทางด้านคิเนมาติกส์และคิเนติกส์ของการวิ่งกับการเดิน

	การวิ่ง	การเดิน
วงจร (Entire cycle)	ช่วงที่เท้าลอยจากพื้น ยาวกว่าการเดิน	ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น ยาวกว่าการวิ่ง
ระยะเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (Duration of stance phase)	สั้นกว่าการเดิน	ยาวกว่าการวิ่ง
ช่วงที่เท้าทั้งสองข้างสัมผัสพื้น (Double support period)	ไม่มี	มี
ระยะเวลาในช่วงที่เท้าลอยพื้น (Duration of swing phase)	ยาวกว่าการเดิน	สั้นกว่าการวิ่ง
ช่วงที่เท้าทั้งสองข้างลอยพื้น (Floating period)	มี	ไม่มี
ความยาวของการก้าว (Stride length)	ยาวกว่าการเดิน	สั้นกว่าการวิ่ง
ความถี่ของการก้าว (Stride frequency)	สูงกว่าการเดิน	ต่ำกว่าการวิ่ง
ตำแหน่งของจุดศูนย์กลางมวลของร่างกาย (Position of body COM)	ต่ำกว่าการเดิน	สูงกว่าการวิ่ง
การแกว่งของจุดศูนย์กลางมวลของร่างกาย ในแกนตั้ง (Vertical oscillation of body COM)	น้อย	มาก
ความเร็วเชิงเส้นและเชิงมุมของระยางค์ ส่วนล่าง (Linear and angular velocity of lower extremity)	เร็วกว่าการเดิน	ช้ากว่าการวิ่ง
ความต้องการช่วงการเคลื่อนไหว (Required ROM)	มากกว่าการเดิน	น้อยกว่าการวิ่ง
การทำงานของกล้ามเนื้อ	มากกว่าการเดิน	น้อยกว่าการวิ่ง
แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force)	2.5-3 เท่าของน้ำหนักตัว	~90% ของน้ำหนักตัว

ที่มา: Hamilton and Luttgens (2002); Adelaar (1986); Cavanagh (1987)

การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ของการวิ่ง (Biomechanical analysis of running)

1. ช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance Phase) แบ่งออกเป็นระยะย่อยๆ ดังนี้

1.1 ระยะที่เท้ากระทบพื้น (Foot strike)

รูปแบบของเท้ากระทบพื้น (Foot strike) ได้แก่

1. ส้นเท้ากระทบพื้น (Heel strike) มักพบในการวิ่งช้าๆ เนื่องจาก Heel pad มีคุณสมบัติในการช่วยลดแรงกระแทกได้

2. กลางเท้ากระทบพื้น (Midfoot strike) จะพบเมื่อนักวิ่งวิ่งด้วยความเร็วที่เร็วขึ้น เช่นการวิ่งจ็อกกิ้งเร็วๆ (Fast jogging) หรืออาจพบในนักกีฬาที่แข่งขันวิ่งระยะไกล

3. ปลายเท้ากระทบพื้น (Forefoot strike) โดยมากจะพบในการวิ่งระยะสั้น (Sprinting) ซึ่งอาจทำให้เกิดอาการเมื่อยล้า (Metatarsalgia) หรือเกิดกระดูกหักร้าว (Stress fracture) บริเวณกึ่งกลางกระดูกฝ่าเท้า (Central metatarsal bones) ได้ เนื่องจากมีแรงมากกระทำซ้ำๆ ต่อบริเวณกึ่งกลางกระดูกฝ่าเท้ามาก

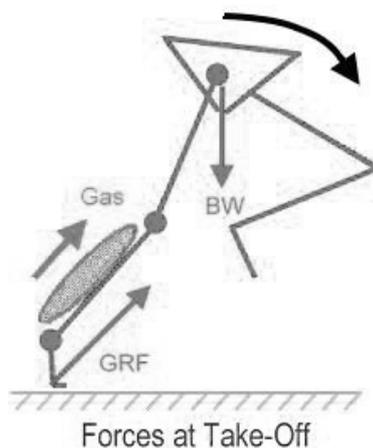
ในช่วงที่เท้ากระทบพื้น เท้าจะอยู่ในลักษณะที่หงาย (Supinated) เล็กน้อย ร่วมกับการหมุนออกทางด้านนอก (External rotation) ของกระดูก Tibia ซึ่งในช่วงนี้จะมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นมากระทำต่อเท้า ดังนั้น ในช่วงที่เท้ากระทบพื้นจะเกิดการเคลื่อนไหวของส่วนต่างๆ ของร่างกายเพื่อดูดซับแรงกระแทก เช่น การงอเข่า (Knee flexion) รวมถึงการเลือกสวมใส่รองเท้าเพื่อดูดซับแรงกระแทกนั้นๆ นอกจากนี้ในช่วงที่เท้าเริ่มกระทบกับพื้น (Initial impact) จะเกิดอิมพัลส์ ซึ่งเป็นผลมาจากผลคูณของแรงที่มากกระทำกับระยะเวลาที่แรงมากกระทำ โดยในขณะที่วิ่งช้าๆจะมีแรงปฏิกิริยาจากพื้นมากกระทำกับเท้าประมาณ 2.5-3 เท่าของน้ำหนักตัว ถ้าวิ่งเร็วขึ้นแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่มากระทำกับเท้าจะมากขึ้นและส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บต่อเท้าและข้อเท้าได้ ในปัจจุบันจึงได้มีการพัฒนาวัสดุที่ใช้ในผลิตรองเท้า เช่น รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าเป็นถุงอากาศ (Air-cushioned shoes) หรือมีการพัฒนาพื้นสนามโดยใช้โพลียูรีเทน (Polyurethane; PU) หรือเป็นพื้นไม้ (Wooden surface) เพื่อลดแรงที่มากกระทำต่อเท้า

1.2 ระยะที่เท้ารับน้ำหนักร่างกาย (Mid support)

เป็นระยะที่อยู่ระหว่างระยะที่ส้นเท้ากระทบพื้นกับระยะที่เท้าเริ่มผลัดพื้น จะพบเฉพาะในการวิ่งที่วิ่งลงส้นเท้าเท่านั้น โดยระยะนี้น้ำหนักของร่างกายจะถูกรองรับโดยเท้าข้างหนึ่ง ในขณะที่เท้าอีกข้างจะเหวี่ยงไปข้างหน้า

1.3 ระยะที่เท้าเริ่มหลุดจากพื้น (Take off)

เป็นช่วงที่ต้องใช้กำลังของขาอย่างมากในการขับเคลื่อน และนักวิ่งต้องมีความเร่งในการเคลื่อนที่สูง (จาก $F = ma$) โดยเท้าจะต้องส่งแรงผลักดันให้ร่างกายเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะเกิดการหงายของ Subtalar joint (Supination of the subtalar joint) มีการลื้อคของข้อต่อ Midtarsal และข้อต่อระหว่างกระดูกฝ่าเท้ากับนิ้วเท้าที่หนึ่ง (1st MP joint) งอแบบ Dorsiflexion นอกจากนี้กล้ามเนื้อ Gastrocnemius จะมีการหดตัวแบบสั้นเข้า (Concentric contraction) (ภาพที่ 4) ซึ่งจะทำให้ Moment arm ของเอ็นร้อยหวาย (Achilles tendon) เพิ่มมากขึ้นในขณะ Take-off ส่งผลให้เท้าออกแรงผลักดันได้มากขึ้น



ภาพที่ 4 แรงที่เกิดขึ้นในช่วงการออกตัว

2. ช่วงที่เท้าลอยพื้น (Swing phase)

เป็นช่วงที่ร่างกายมีการเคลื่อนไหวมากที่สุด และการที่ร่างกายจะเคลื่อนที่ในอากาศได้ จะขึ้นอยู่กับมุมในการ Take-off กล่าวคือ มุมระหว่าง COG กับจุด Take-off ซึ่งจะต้องเป็นมุมที่มีค่าน้อย (เป็นมุมแหลม), ความเร็วในการวิ่งต้องมาก, ความแตกต่างระหว่างความสูงของ COM ที่จุด Take-off กับที่จุดลงสู่พื้น (Landing) ต้องน้อย รวมทั้งการลดแรงด้านการหมุนโดยยกขาและสะโพกเข้ามาใกล้ลำตัวมากที่สุด เพื่อเป็นการเพิ่มช่วงการเคลื่อนไหวของระยางค์ส่วนล่างด้วยการให้มวลของขาเข้าใกล้สะโพกและเพิ่มความเร็วเชิงมุมในการแกว่งขา นอกจากนี้ การที่เท้าจะลอยพื้นได้จะต้องอาศัยการกระดกข้อเท้าขึ้น, งอเข้า และงอสะโพก ซึ่งเกิดจากการทำงานของกล้ามเนื้อระยางค์ส่วนล่างทั้งสิ้น ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 2 การทำงานของกล้ามเนื้อระยางค์ส่วนล่างที่ทำให้เกิดการกระดกข้อเท้าขึ้น, งอเข้า และงอสะโพก ในช่วงที่เท้าลอยพื้น

การเคลื่อนไหวของข้อต่อ		ที่มาของแรงในการเคลื่อนไหว	กล้ามเนื้อที่ทำงาน
สะโพก	งอ(Flexion)	กล้ามเนื้อ	Iliopsoas + rectus femoris
หัวเข้า	งอในช่วง 2/3 แรก	โมเมนต์ตัมในช่วง 2/3 แรก	ช่วง 2/3 แรก : --
	เหยียดในช่วง 1/3 หลัง	กล้ามเนื้อในช่วง 1/3 หลัง	ช่วง 1/3 หลัง : hamstring
ข้อเท้า	กระดกข้อเท้า(Dorsiflexion)	กล้ามเนื้อ	Tibialis anterior + toe extensors

ที่มา: Hamilton and Luttgens (2002); Adelaar (1986); Cavanagh (1987)

การวิ่งระยะสั้น (Sprinting)

การวิ่งระยะสั้น หมายถึง การวิ่งที่ระยะทางน้อยกว่า 400 เมตร และช่วงที่เท้าสัมผัสพื้นมีเพียง 22 เปอร์เซ็นต์ของวงจรการวิ่ง (Hamilton and Luttgens, 2002; Adelaar, 1986; Cavanagh, 1987) โดยประสิทธิภาพในการวิ่งจะอธิบายได้ด้วยความเร็วสูงสุดในแกนนอน (Horizontal velocity) ซึ่ง

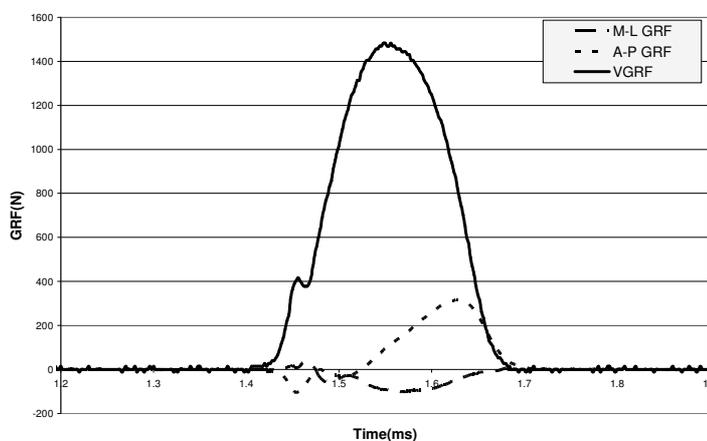
สามารถทำได้โดยการเพิ่มความยาวในการก้าวและความถี่ในการก้าว ทั้งนี้ความยาวของการก้าวจะขึ้นอยู่กับความยาวของขา, มุมการเคลื่อนไหวของข้อสะโพก และความแข็งแรงของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่ในการเหยียดขา ส่วนความถี่ของการก้าวขึ้นอยู่กับความเร็วในการหดตัวของกล้ามเนื้อ และทักษะในการวิ่ง นอกจากนี้ในช่วงเพิ่มความเร่ง (Acceleration phase) ลำตัวจะตั้งขึ้นเพื่อเพิ่มความยาวในการก้าวจากการที่มุมของข้อสะโพกยกตัวขึ้น

การวิ่งจ็อกกิ้ง (Jogging)

การวิ่งจ็อกกิ้ง หมายถึง การวิ่งที่มีระยะทางมากกว่า 1,500 เมตร หรือมีลักษณะของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น 31 เปอร์เซ็นต์ (Hamilton and Luttgens, 2002; Adelaar, 1986; Cavanagh, 1987) ซึ่งควรป้องกันแรงกระแทกที่จะมากระทำซ้ำๆ ด้วยการสวมใส่รองเท้าที่มี Midsole cushioning และเลือกใช้แผ่นรองส้นเท้า (Heel pad) ที่มีคุณภาพ

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง

กฎข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's third law) ได้กล่าวไว้ว่า “ทุกๆแรงกิริยาจะมีแรงปฏิกิริยาที่มีขนาดเท่ากันและมีทิศทางตรงกันข้ามเสมอ” ดังนั้น ในขณะวิ่งเมื่อเท้าออกแรงกระทำต่อพื้นจะเป็นแรงกิริยา ขณะเดียวกันพื้นจะส่งแรงปฏิกิริยามากระทำกับเท้าในขนาดที่เท่ากันแต่มีทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งแรงนี้อาจเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “แรงปฏิกิริยาจากพื้น (Ground reaction force; GRF)”



ภาพที่ 5 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่งทั้ง 3 แกน

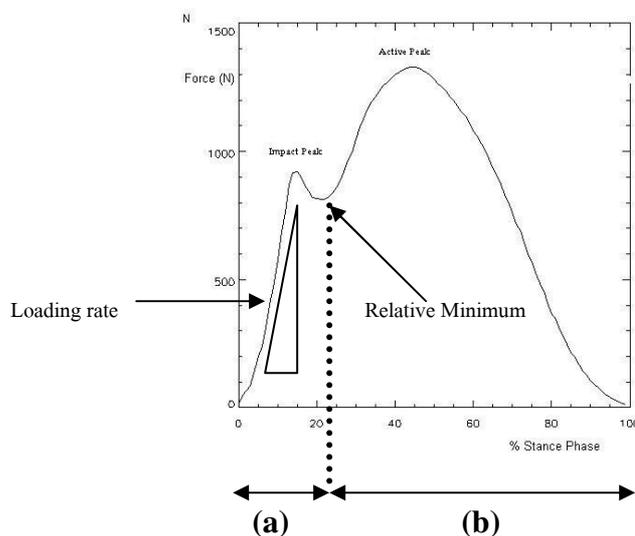
แรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่งแบ่งออกเป็น 3 แขน คือ แขนตั้ง (VGRF), แขนหน้า-หลัง (A-P GRF) และแขนซ้าย-ขวา (M-L GRF) (ภาพที่ 5) ซึ่งแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดขึ้นจะสัมพันธ์กับความเร็วในการวิ่ง ดังนี้คือเมื่อความเร็วในการวิ่งสูงขึ้นแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นในช่วงสั้นเท้ากระทบพื้น (Impact peak) และที่เกิดขึ้นช่วงปลายเท้าผลักพื้น (Active peak) จะมีค่าสูงขึ้นด้วย (Hamill *et al.*, 1983; Munro *et al.*, 1987; Nilsson and Thorstensson, 1989) โดยอิทธิพลของความเร็วจึงจะส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งมากที่สุด ส่วนแกนหน้า-หลัง และ แขนซ้าย-ขวาจะได้รับผลกระทบจากการเพิ่มความเร็วไม่มากนัก (Nilsson and Thorstensson, 1989)

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งจะมีความแปรปรวนน้อยที่สุดและมีค่าสูงที่สุด (Cavanagh and Lafortune 1980; Keller *et al.*, 1996; Munro *et al.*, 1987) โดยในการวิ่งระยะไกล แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งจะมีค่าสูงประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักตัว (Body weight) (Cavanagh and Lafortune, 1980; Nilsson and Thorstensson, 1989) ซึ่งแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งมีอยู่หลายองค์ประกอบ เช่น ความเร็วที่แรงกระทำกับสั้นเท้าในขณะที่สั้นเท้ากระทบพื้น (Loading rate), แรงปฏิกิริยาสูงสุดเมื่อสั้นเท้าสัมผัสพื้น (Impact peak), ค่าน้อยที่สุดของแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดขึ้นระหว่างแรงปฏิกิริยาสูงสุดในขณะที่สั้นเท้ากระทบพื้นและปลายเท้าผลักพื้น (Relative minimum) และแรงปฏิกิริยาสูงสุดในการผลักเท้า (Active peak) ยิ่งกว่านั้นองค์ประกอบเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบภายนอก เช่น มวลของร่างกาย (Body mass), การกระจายของมวล (Mass distribution), ลักษณะการวิ่ง, บริเวณที่เท้ากับพื้นสัมผัสกัน, รองเท้าและพื้นสนาม, และกลศาสตร์ของเท้า (Keller *et al.*, 1996)

การวิ่งโดยที่สั้นเท้ากระทบพื้นก่อน (Heel strike) จะทำให้ได้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่มีค่าสูงสุดอยู่ 2 ตำแหน่ง (Cavanagh and Lafortune, 1980; Lees *et al.*, 2005; Munro *et al.*, 1987; Nilsson and Thorstensson 1989) โดย Munro *et al.* (1987) รายงานว่าค่าสูงสุดค่าแรกคือค่าที่เกิดจากการที่สั้นเท้ากระทบพื้นเรียกว่า Impact peak สัญญาณที่เกิดขึ้นมีความถี่สูง (High frequency) ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงแรกคือ 6-17% ของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) และจากนั้นจะพบค่าสูงสุดอีกค่าคือค่าสูงสุดในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้น เรียกว่า Active peak ซึ่งสัญญาณจะมีความถี่ต่ำกว่า (Lower frequency) ซึ่งโดยปกติจะเกิดขึ้นในช่วงครึ่งหลังของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (ภาพที่ 6) ทั้งนี้ ความชันของแรงปฏิกิริยาจากพื้นก่อนถึงจุด Impact peak เรียกว่า Loading rate ซึ่งบ่งบอกว่าพื้นส่งแรงมา

กระทำต่อเท้าเร็วเพียงใด โดยถ้า Loading rate มีค่ามากจะแสดงว่าพื้นส่งแรงมากระทำต่อเท้าอย่างรวดเร็วและทำให้เกิดการบาดเจ็บได้มาก



ภาพที่ 6 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนต์ตั้งเมื่อวิ่งแบบส้นเท้ากระทบพื้น

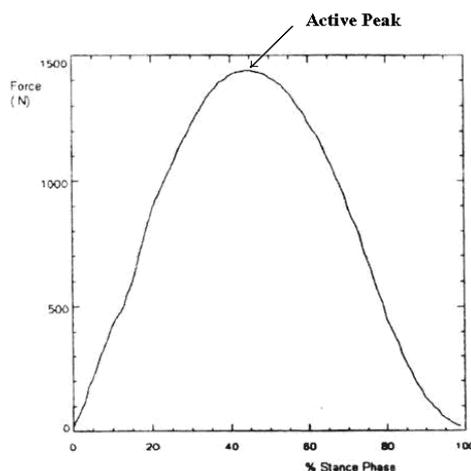
หมายเหตุ แกนต์ตั้ง คือ แรงกระทำจากพื้น มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าพื้นออกแรงขึ้นมากกระทำต่อเท้าหรือร่างกาย

แกนต์นอน คือ เปอร์เซนต์ของเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น

a คือ Impact phase หมายถึง ช่วงเวลาที่ส้นเท้ากระทบพื้น

b คือ Push off phase หมายถึง ช่วงเวลาที่ปลายเท้าผลักพื้น

Munro *et al.* (1987) รายงานว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อส้นเท้ากระทบพื้นมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1.6-2.3 เท่าของน้ำหนักร่างกาย (BW) เมื่อวิ่งด้วยความเร็วระหว่าง 3-5 เมตร/วินาที ในขณะที่ Cavanagh and LaFortune (1980) ได้รายงานว่าเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่สูงขึ้นเท่ากับ 4.5 เมตร/วินาที นักวิ่งที่วิ่งลงส้นเท้า (Heel strikers) จะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาสูงสุดในขณะที่ส้นเท้ากระทบพื้นเท่ากับ 2.2 เท่าของน้ำหนักร่างกาย และแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นขณะปลายเท้าผลักพื้นจะมีค่ามากถึง 2.8 เท่าของน้ำหนักร่างกาย สำหรับในกลุ่มของนักวิ่งที่วิ่งลงกลางเท้าและปลายเท้า (Midfoot or Forefoot strikers) จะไม่พบแรงปฏิกิริยาสูงสุดในขณะที่ส้นเท้ากระทบพื้น (Impact peak) ในกราฟของแรงปฏิกิริยาจากพื้น Nilsson and Thorstensson (1989) ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 7 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนนั่งของนักวิ่งที่วิ่งลงกลางเท้าหรือปลายเท้า

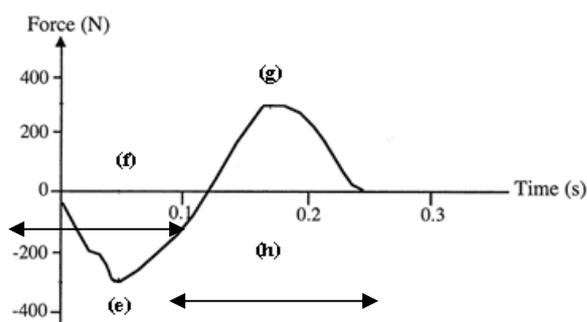
หมายเหตุ แกนนั่ง คือ แรงกระทำจากพื้น มีค่าเป็นบวก แสดงให้เห็นว่าพื้นออกแรงขึ้นมากกระทำต่อเท้าหรือร่างกาย
แกนนอน คือ เปอร์เซนต์ของเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น

Nilsson and Thorstensson (1989) รายงานว่า แรงปฏิกิริยาสูงสุดขณะปลายเท้าผลัดพื้น (Active peak) มีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเร็วของการวิ่ง โดยแรงปฏิกิริยาสูงสุดจะเพิ่มขึ้นจาก 1.2 เท่าของน้ำหนักตัว (BW) เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที เป็น 2.6 BW เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที เช่นเดียวกับ Munro *et al.* (1987) ที่แสดงให้เห็นว่า แรงปฏิกิริยาสูงสุดขณะปลายเท้าผลัดพื้นจะเพิ่มขึ้นจาก 2.5 BW เป็น 2.8 BW อย่างมีนัยสำคัญเมื่อความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้น 3 เมตร/วินาที เป็น 5 เมตร/วินาที ซึ่งสอดคล้องกับ Keller *et al.* (1996) ที่แสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดขณะปลายเท้าผลัดพื้นเพิ่มขึ้นจาก 1.15 BW เป็น 2.5 BW เมื่อเพิ่มความเร็วในการวิ่งจาก 1.5 เมตร/วินาที เป็น 5 เมตร/วินาที นอกจากนี้ยังพบว่า ความเร็วในการวิ่งกับแรงปฏิกิริยาสูงสุดในขณะปลายเท้าผลัดพื้นมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงเมื่อความเร็วในการวิ่งอยู่ในช่วง 2.5-4 เมตร/วินาที และหลังจากนั้นแรงปฏิกิริยาสูงสุดจะไม่ค่อยมีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งแตกต่างจากการรายงานของ Munro *et al.* (1987) ที่พบว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดขณะปลายเท้าผลัดพื้น จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตลอดเมื่อวิ่งด้วยความเร็วในช่วง 3 เมตร/วินาทีจนถึง 6 เมตร/วินาที

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง (A-P GRF) (ภาพที่ 8) จะแบ่งออกเป็นระยะหยุด (Breaking phase) และระยะขับเคลื่อน (Push-off phase) แรงปฏิกิริยาจากพื้นในระยะหยุดคือระยะที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นมีค่าเป็นลบ ซึ่งหมายความว่า ผลักร่างกายผู้วิ่งไปทางด้านหลัง หรือทำให้ผู้วิ่งเสียความเร็ว ส่วนแรงปฏิกิริยาจากพื้นในระยะขับเคลื่อน คือระยะที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นมีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายความว่า ผลักผู้วิ่งไปทางด้านหน้า ช่วยให้ผู้วิ่งมีความเร็วเพิ่มขึ้น

ค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่งของแกนนี้จะมีค่าน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับค่าของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง โดย Nilsson and Thorstensson (1989) พบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกับความเร็วของการวิ่ง โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลังจะเพิ่มขึ้นจาก 0.13 BW เป็น 0.5 BW เมื่อความเร็วในการวิ่งเพิ่มขึ้นจาก 1.5 เมตร/วินาที เป็น 6 เมตร/วินาที



ภาพที่ 8 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า - หลังกับเวลา

หมายเหตุ แกนตั้ง คือ แรงกระทำจากพื้น มีค่าเป็นลบ หมายถึง พื้นผลักเท้าไปทางด้านหลัง มีค่าเป็นบวก หมายถึง พื้นผลักเท้าไปทางด้านหน้า

e คือ Peak posterior GRF หมายถึง แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดที่ผลักเท้าไปทางด้านหลัง

g คือ Peak anterior GRF หมายถึง ค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้า

f คือ ช่วงที่พื้นผลักเท้าไปทางด้านหลัง (breaking phase)

h คือ ช่วงที่พื้นผลักเท้าไปทางด้านหน้า (push-off phase)

ลักษณะของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง ไม่เกี่ยวข้องกับลักษณะของการกระทบพื้นด้วยส้นเท้า กลางเท้า หรือปลายเท้า บางข้อมูลแสดงให้เห็นว่าในช่วงระยะหยุด (Breaking phase) จะมีค่าสูงสุด 2 ค่า (Double peak) ซึ่งพบในพวกที่ลงกลางเท้าและปลายเท้า แต่ในกลุ่มที่วิ่งลงส้นเท้า จะมีค่าสูงสุดเพียงค่าเดียวเท่านั้น (Cavanagh and LaFortune, 1980; Nilsson and Thorstensson, 1989) บางการศึกษาให้ผลที่ขัดแย้งกันคือ Double peak จะเกิดขึ้นกับพวกที่ลงส้นเท้าและ single peak จะเกิดขึ้นกับพวกที่ลงกลางเท้า (Hamill *et al.*, 1983) ซึ่งต่อมา Munro *et al.* (1987) ได้พบว่า Single, Double และ Multiple peak ในช่วงระยะหยุด (Breaking phase) จะเกิดขึ้นในพวกที่ลงส้นเท้า จากการศึกษาทั้งหมดนี้สามารถสรุปได้ว่า รูปแบบของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดไม่มีความสัมพันธ์กับรูปแบบของการกระทบพื้นของเท้าซึ่งได้แก่ กระทบพื้นด้วยส้นเท้า, กลางเท้า หรือปลายเท้า

แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนซ้าย-ขวา

จากการศึกษาข้อมูลแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนซ้าย-ขวาบ่งบอกว่าจะมีความแปรปรวนเกิดขึ้นมากในแกนนี้ (Munro *et al.*, 1987) ซึ่งเป็นไปได้ว่าความแปรปรวนที่เกิดขึ้นนั้นมาจากความจำเพาะของบุคคล โดย Nilsson and Thorstensson (1987) ได้แสดงถึง พวกนักวิ่งที่ลงปลายเท้า จะเกิด Medial GRF ในระยะต้นของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ส่วนพวกที่วิ่งลงส้นเท้าจะเกิด Lateral GRF ก่อน แต่ Cavanagh (1982) กลับอธิบายว่า ในนักวิ่งที่ลงส้นเท้าจะเกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นทั้งในฝั่ง Lateral และ Medial

นอกจากนี้ข้อมูลของแรงปฏิกิริยาในแกนนี้ค่อนข้างจะมีน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลของแรงปฏิกิริยาในแกนตั้งและแกนหน้า-หลัง (Cavanagh and LaFortune, 1980; Hamill *et al.*, 1983; Munro *et al.*, 1987) ทั้งนี้จากการศึกษากับนักวิ่งที่วิ่งด้วยความเร็ว 4.5 เมตร/วินาที แสดงให้เห็นว่าค่าเฉลี่ยจากแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่หนึ่งถึงแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่สอง (Peak-to-peak) ของแกนซ้าย-ขวาจะมีค่าเพียง 9% ของค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง และเท่ากับ 26% ของค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลัง (Cavanagh and LaFortune, 1980) ซึ่งต่อมา Nilsson and Thorstensson (1989) ได้พบว่าความเร็วในการวิ่งสัมพันธ์กับแรงปฏิกิริยาสูงสุดในช่วงที่หนึ่งถึงแรงปฏิกิริยาสูงสุดช่วงที่สอง (Peak-to-peak) ของแกนซ้าย-ขวา กล่าวคือ แรงปฏิกิริยาสูงสุดในช่วงที่หนึ่งถึงแรงปฏิกิริยาสูงสุดช่วงที่สองจะเพิ่มขึ้นจาก 0.12 BW เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 1.5 เมตร/วินาที เป็น 0.28 BW เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 6 เมตร/วินาที รวมทั้ง Munro *et al.* (1987) ได้รายงานไว้ว่า เมื่อวิ่งด้วยความเร็วให้อยู่

ในช่วงดังกล่าวจะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาสูงสุดทางด้านใน (Medial) ประมาณ 0.04 BW ถึง 0.25 BW และเกิดแรงปฏิกิริยาสูงสุดทางด้านนอก (Lateral) ประมาณ 0.06 BW ถึง 0.31 BW

ความสัมพันธ์ของลักษณะอุ้งเท้ากับแรงปฏิกิริยาจากพื้น

งานวิจัยส่วนมากได้สนใจศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของอุ้งเท้ากับแรงปฏิกิริยาจากพื้น โดยมุ่งศึกษาเรื่อง ความสูงของอุ้งเท้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในด้านการดูดซับแรง (Shock absorption) โดยเท้าที่มีลักษณะอุ้งเท้าสูง (High arch) จะเคลื่อนไหวได้น้อยกว่าปกติและน้อยกว่าเท้าที่มีลักษณะอุ้งเท้าแบน (Low arch) ดังนั้นจึงทำหน้าที่ในการช่วยดูดซับแรงได้น้อย (Cavanagh, 1980)

ในทางตรงข้ามบางงานวิจัยได้แสดงให้เห็นว่าความสูงของอุ้งเท้าจะไม่มีอิทธิพลต่อการดูดซับแรง หรือลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้ง (Lees *et al.*, 2005; Nachbauer and Nigg, 1992) โดย Nachbauer and Nigg (1992) ได้ศึกษาถึงผลของความสูงของอุ้งเท้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง โดยพบว่าไม่มีความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งและแกนหน้า-หลังระหว่างนักวิ่งที่มีความสูงของอุ้งเท้าที่แตกต่างกัน แต่จะพบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นเฉพาะในแกนซ้าย-ขวา ดังนี้คือ กลุ่มที่มีอุ้งเท้าแบน (Low arch) จะมีค่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดทางด้านใน (Medial peak) มากกว่าปกติ 12.6 % และมากกว่ากลุ่มอุ้งเท้าสูง (High arch) 1.2% อย่างไรก็ตามแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนซ้าย-ขวามีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนอื่นๆ ดังนั้นจึงไม่น่าส่งผลเสียใดๆ

ในปัจจุบันเชื่อว่าอุ้งเท้าสูง (High arch) สามารถดูดซับแรงกระแทกได้ต่ำ เนื่องจากความไม่ยืดหยุ่นของเท้าที่พบในอุ้งเท้าสูงซึ่งจะมากกว่าปกติและมากกว่าอุ้งเท้าแบน (Low arch) (Cavanagh, 1980; Simkin *et al.*, 1989) นอกจากนี้ Lees *et al.* (2005) ยังรายงานว่ นักวิ่งที่มีอุ้งเท้าสูงจะวิ่งโดยใช้เส้นเท้ากระทบพื้น และความเร็วของการกระทบพื้นด้วยเส้นเท้ามีค่าสูงมาก จึงมี Loading rate ของแรงปฏิกิริยาในแกนตั้งสูง

ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วในการวิ่งกับลักษณะของเท้าที่สัมผัสพื้น

นักวิ่งจะวิ่งเร็วขึ้นเมื่อเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นสั้นลง (Munro *et al.*, 1987) นอกจากนี้ Keller *et al.* (1996) ยังพบว่า การที่จะวิ่งโดยให้สั้นเท้า, กลางเท้า หรือปลายเท้า กระทบพื้นนั้น ขึ้นอยู่กับความเร็วที่ใช้ ดังนั้น ที่ความเร็วในการวิ่งช้าๆ นักวิ่งทุกคนจะวิ่งลงสั้นเท้า แต่ที่ความเร็วมากกว่า 3 เมตร/วินาที นักวิ่งจะวิ่งแบบลงกลางเท้าและปลายเท้ามากขึ้น ที่ความเร็ว 6 เมตร/วินาที ประมาณ 68 เปอร์เซ็นต์ของนักวิ่งจะวิ่งแบบลงกลางเท้าหรือปลายเท้า

แรงปฏิกิริยาจากพื้นและการล้า

ในขณะที่มีปัจจัยมากมายที่ส่งผลต่อการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง โครงสร้างของกล้ามเนื้อก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเนื่องจากกล้ามเนื้อสามารถช่วยดูดซับแรงด้วยการปรับเปลี่ยนท่าทางของร่างกายในขณะเกิดแรงกระแทก (Derrick *et al.*, 1998) ด้วยเหตุนี้ เมื่อกกล้ามเนื้อเกิดการล้าความสามารถในการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นจึงน่าจะลดลง อย่างไรก็ตาม การศึกษาถึงผลของการล้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่งยังมีน้อยอยู่และข้อค้นพบที่ได้ยังขัดแย้งกันอยู่

Mercer *et al.* (2003) ได้อธิบายว่า ความสามารถของกล้ามเนื้อในการช่วยดูดซับแรงจะลดลงภายหลังจากที่นักวิ่งหมดแรงวิ่ง โดย Mercer ได้ให้นักวิ่งวิ่งบนลู่วิ่งที่ความเร็วเริ่มต้น 3.8 เมตร/วินาที แล้วทำการปรับความหนักขึ้นเรื่อยๆ เพื่อทำให้เกิดการล้า ซึ่งเมื่อนักวิ่งวิ่งไปเรื่อยๆ ความสามารถในการดูดซับแรงของกล้ามเนื้อจะลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับตอนเริ่มวิ่ง นอกจากนี้ Verbitsky *et al.* (1998) ยังพบว่า เมื่อกกล้ามเนื้อล้าจะทำให้ความถี่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะสั้นเท้ากระทบพื้นกว้างขึ้นและความยาวก้าว (Stride length) ลดลง Christina *et al.* (2001) และ Radin (1986) อธิบายว่า การหดตัวของกล้ามเนื้อลดลงเมื่อกกล้ามเนื้อล้า ได้ส่งผลให้ความสามารถในการช่วยดูดซับแรงกระแทกลดลง รวมทั้งการล้าของกล้ามเนื้อที่ทำหน้าที่เป็น Invertors และ Dorsiflexors ทำให้การกระดกข้อเท้าขึ้นแบบ Dorsiflexion ลดลงในขณะที่สั้นเท้ากระทบพื้นซึ่งส่งผลโดยตรงต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้น (Christina *et al.*, 2001; Elliot and Ackland, 1981; Gheluwe and Madsen, 1997)

ในทางตรงข้าม Derrick *et al.* (2002) และ Gerlach *et al.* (2005) พบว่า กล้ามเนื้อล้าทำให้ แรงปฏิกิริยาสูงสุดที่พบในขณะสั้นเท้ากระทบพื้นและ Loading rate ลดลง แต่แรงปฏิกิริยาสูงสุดในขณะ

ปลายเท้าผลักดัน ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งอาจเกี่ยวเนื่องมาจากนักวิ่งมีการเปลี่ยนแปลงท่าทางการวิ่งจึงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางคิเนติกในขณะวิ่ง

สาเหตุที่ผลการวิจัยเกี่ยวกับกล้ามเนื้อล้ากับแรงปฏิกิริยาจากพื้นมีความแตกต่างกันนั้น เนื่องจาก งานวิจัยในแต่ละเรื่องมีความแตกต่างกันในเรื่องระดับของความล้าไปจนถึงศึกษาถึงตัวแปรที่ต่างกันหรือรูปแบบของการวิ่งที่ใช้เพื่อทำให้เกิดการล้าที่ต่างกัน เช่น ระยะเวลาในการวิ่ง, ความชันในการวิ่ง หรือความหนักในการวิ่ง (Mercer *et al.*, 2003)

อิมพัลส์ในขณะวิ่ง

เมื่อร่างกายมีแรงภายนอกมากจะทำให้วัตถุเคลื่อนที่หรือมีการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม โดยโมเมนตัมที่เปลี่ยนแปลงนี้ ขึ้นอยู่กับผลคูณของแรงภายนอกที่มากระทำและระยะเวลาที่มากระทำ ซึ่งผลคูณของแรงกับระยะเวลาที่กระทำต่อร่างกาย เรียกว่า อิมพัลส์ (Impulse) และถ้าแรงที่มากระทำมีค่าคงที่จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Impulse} = F\Delta T \quad \text{_____} (1)$$

เมื่อ F คือ แรงลัพธ์
 ΔT คือ ระยะเวลาที่แรงลัพธ์กระทำทั้งหมด

ซึ่งอิมพัลส์ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัมนั่นเอง โดยโมเมนตัม (Momentum) หมายถึงปริมาณการเคลื่อนที่ของร่างกาย หรือผลคูณของมวลกับความเร็วที่ร่างกายเคลื่อนที่ซึ่งเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Momentum} = m\Delta V \quad \text{_____} (2)$$

เมื่อ m คือ มวล
 ΔV คือ ความเร็วที่เปลี่ยนไป

โดยความสัมพันธ์ระหว่าง อิมพัลส์ และ โมเมนตัม จะเป็นดังสมการที่ 3

$$F\Delta T = m\Delta V \quad \text{_____ (3)}$$

เนื่องจากอิมพัลส์เป็นผลคูณของแรงกับเวลา ดังนั้นถ้านักวิ่งต้องการที่จะเคลื่อนที่ไปข้างหน้าให้ได้ความเร็วมากหรือมีปริมาณในการเคลื่อนที่มาก (โมเมนตัมมาก) นักวิ่งจะต้องเพิ่มแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังขณะปลายเท้าผลักพื้น (Push-off) ให้มากหรือออกแรงผลักพื้นให้นานเพื่อเพิ่มอิมพัลส์ให้มากขึ้น แล้วปริมาณการเคลื่อนที่หวไปข้างหน้าก็จะมากขึ้นไปด้วยนั่นเอง

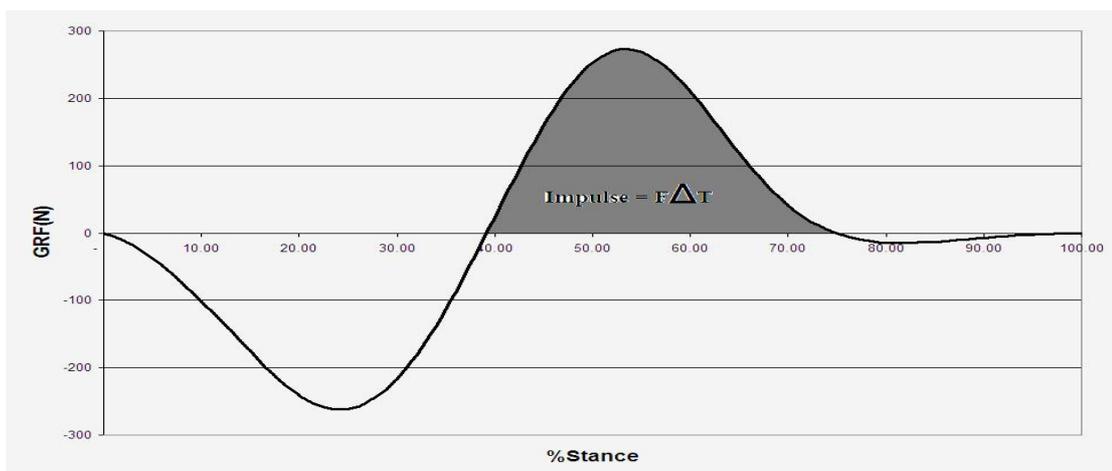
ทั้งนี้สามารถคำนวณหาอิมพัลส์ในขณะวิ่งจากค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนต่างๆ ได้ดังนี้

$$\text{อิมพัลส์ในแกนตั้ง} = \sum_{j=1}^n (GRF_j - W) \cdot (dt) \quad \text{_____ (4)}$$

$$\text{อิมพัลส์ในแกนหน้า - หลัง} = \sum_{j=1}^n GRF_j \cdot dt \quad \text{_____ (5)}$$

โดย	j	=	จำนวนของข้อมูล
	n	=	จำนวนของข้อมูลทั้งหมด
	dt	=	เวลาที่เปลี่ยนไป
	W	=	แรงดึงดูดของโลกที่กระทำต่อร่างกาย
	GRF	=	แรงปฏิกิริยาจากพื้น

หรืออาจคำนวณได้จาก ผลรวมของพื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับเวลา (ภาพที่ 9) โดยถ้าพื้นที่แรเงามากแสดงว่ามีอิมพัลส์ในขณะปลายเท้าผลักพื้นมากและส่งผลให้วิ่งไปข้างหน้าด้วยความเร็วที่มาก แต่ถ้าพื้นที่แรเงาน้อยแสดงว่ามีอิมพัลส์ที่ผลักร่างกายไปข้างหน้าน้อย ทำให้วิ่งไปข้างหน้าด้วยความเร็วที่น้อยกว่า

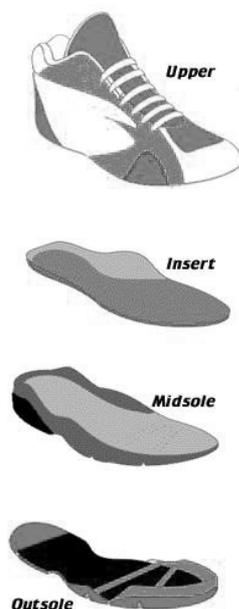


ภาพที่ 9 พื้นที่ใต้กราฟระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับเวลา

องค์ประกอบของรองเท้ากีฬา

โครงสร้างของรองเท้า

รองเท้ากีฬาถูกสร้างให้มีรูปแบบเฉพาะที่แตกต่างกันด้วยวัสดุที่แตกต่างกัน และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพให้ดีขึ้นอยู่ตลอดเวลาเพื่อเพิ่มความสามารถของผู้สวมใส่และลดความเสี่ยงที่อาจทำให้เกิดการบาดเจ็บ (Frey, 1997; Nigg *et al.*, 1998; Nigg and Segesser, 1992) ซึ่งโครงสร้างที่สำคัญของรองเท้ากีฬาจะประกอบด้วย พื้นรองเท้าส่วนใน (Insole), พื้นรองเท้าส่วนกลาง (Midsole) และพื้นรองเท้าส่วนนอก (Outsole) ดังแสดงในภาพที่ 10 โดยการสวมใส่รองเท้าเป็นพื้นฐานในการเคลื่อนไหวของนักกีฬา ซึ่งสิ่งที่เกิดขึ้นจากการสวมใส่รองเท้าจะส่งผลกระทบต่อกลไกการทำงาน โดยรวมของนักกีฬา (Bates *et al.*, 1983)



ภาพที่ 10 ตัวอย่าง โครงสร้างของรองเท้า

ส่วนบนของรองเท้า (Upper) เป็น โครงสร้างหนึ่งของรองเท้าที่ห่อหุ้มเท้าไปจนถึงพื้นรองเท้า ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นส่วนที่สวยงามที่สุดของรองเท้า มีสีส้นและเครื่องหมายการค้าแสดงอยู่ โดยส่วนบนของรองเท้านี้จะถูกออกแบบให้ห่อหุ้มและทำให้เกิดความมั่นคงของเท้าที่อยู่บนพื้นรองเท้า ซึ่งการผลิตรองเท้าในสมัยก่อนส่วนบนของรองเท้าที่ปกคลุมบริเวณปลายเท้าจะเรียกกันว่า Vamp ซึ่งก็คือบริเวณที่ผูกเชือกรองเท้า โดยการผูกเชือกรองเท้าจะส่งผลต่อความพอดีของรองเท้า ทั้งนี้ระบบการผูกเชือกรองเท้าที่ดีจะทำให้ส่วนบนของรองเท้ากระจายแรงกดที่อยู่บริเวณหลังเท้าได้ ถ้าการผูกเชือกรองเท้าไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดแรงกดต่อปลายประสาทและเอ็นกล้ามเนื้อที่บริเวณหลังเท้า

วัสดุที่ใช้ทำส่วนบนของรองเท้าจะต้องแข็งแรงและมีน้ำหนักเบา โครงสร้างจะประกอบด้วยวัสดุ 3 ชั้น ได้แก่ โฟมโพลียูรีเทน (Polyurethane; PU) ซึ่งเป็นส่วนด้านนอก แผ่น Nylon Tricot และ Nonwoven Cambrelle แต่เนื่องจากวัสดุเหล่านี้ไม่มีรูพรุนจึงทำให้การระบายอากาศของเท้าไม่ดีนัก อาจทำให้เกิดเหงื่อขึ้นได้ง่าย ดังนั้น จึงมีการใช้ชั้นวัสดุที่เป็นเส้น โยงใยติดกัน เพื่อเชื่อมแผ่นที่ซอมนเป็นชั้นเข้าด้วยกัน วัสดุที่ใช้จะต้องมีความแข็งแรงและสามารถระบายเหงื่อได้ดี เช่น หนังสังเคราะห์ (Synthetic leathers) ส่วนผสมพิเศษระหว่างโพลียูรีเทน (Polyurethane) และ โพลีเอสเตอร์ (Polyester) หรือผ้าโพลีโพรพิลีน (Polypropylene) เป็นต้น ซึ่ง

จริงๆแล้วในการออกแบบที่ซับซ้อนมากขึ้นนั้น เพียงแค่เฉพาะส่วนบนนี้ก็จะประกอบด้วยชั้นส่วนย่อยได้ถึง 20 ชั้น (คารณี , 2547)

พื้นรองเท้าส่วนใน (Insole) คือส่วนที่อยู่ด้านในของรองเท้าและเป็นส่วนที่สัมผัสกับเท้าโดยตรง ประมาณสมัยศตวรรษที่ 18 ประเทศเยอรมัน ได้ใช้ไม้ก๊อกมาทำพื้นรองเท้าส่วนนี้ (Nolan, 2004) จากนั้นได้มีการพัฒนาโดยตลอดโดยใช้วัสดุที่แตกต่างกันมากมายไม่ว่าจะเป็น หนัง, ไม้, โลหะ และพลาสติก ซึ่งพื้นรองเท้าส่วนในของรองเท้ากีฬาปัจจุบันส่วนมากจะใช้โพลีเอธิลีน (Polyethylene , PE) ซึ่งประกอบด้วยโฟมที่หุ้มด้วยผ้าที่ซ้อนกันเป็นชั้นๆ โดยรองเท้ากีฬาส่วนใหญ่จะสามารถเปลี่ยนพื้นรองเท้าส่วนในนี้ได้ ทั้งนี้พื้นรองเท้าส่วนในที่ดีนั้นนอกจากจะทำด้วยโฟมที่ถูกอัดแน่นเข้าด้วยกันแล้วจะต้องทำการหล่อแบบตามรูปร่างของเท้านักกีฬาด้วย ซึ่งพื้นรองเท้าส่วนในที่มีโครงสร้างดีจะทำให้สวมใส่สบายและมีส่วนช่วยในการดูดซับแรงได้เล็กน้อย และควรเปลี่ยนพื้นรองเท้าส่วนในบ่อยๆเพื่อให้กระชับกับอุ้งเท้าเสมอ (Nolan, 2004; Cavanagh, 1980; Frey, 1997)

พื้นรองเท้าส่วนกลาง (Midssole) คือส่วนที่อยู่ระหว่างพื้นรองเท้าส่วนในและพื้นรองเท้าส่วนนอก ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดในการผลิตรองเท้ากีฬาทั้งในด้านการออกแบบและวัสดุที่ใช้ เนื่องจากเป็นส่วนที่ต้องถูกแรงอัดและแรงเสียดทานอย่างมากซ้ำๆกันในขณะที่ทำการวิ่ง ด้วยเหตุนี้ลักษณะของพื้นรองเท้าส่วนกลางจึงจำเป็นที่จะต้องมีความนุ่มและแข็งตามหน้าที่การทำงานที่แตกต่างกัน 3 ลักษณะ (Natalaya, 2003) ดังนี้

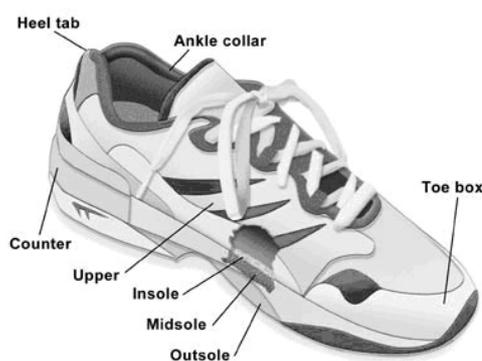
1. ช่วยดูดซับแรงที่มากกระทำในขณะที่ส้นเท้าสัมผัสพื้นและในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้น
2. มีความแข็งแรงเพียงพอที่จะต้านการเกิด Ankle pronation ของเท้าในมุมที่มากเกินไปได้
3. สามารถองได้ตั้งแต่ส่วนที่ 2 จาก 3 ส่วนของส้นเท้า เพื่อให้เกิดความลื่นไหลในการก้าวเท้าไปข้างหน้าตั้งแต่ส้นเท้ากระทบพื้นไปจนถึงปลายเท้าพ้นจากพื้น

ด้วยเหตุนี้วัสดุที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าส่วนกลางจึงต้องสามารถทนต่อแรงกระแทกได้ดี และมีความแข็งแรงสูง ซึ่งโดยส่วนใหญ่มักทำจาก EVA ซึ่งเป็นสารประเภทโพลิเมอร์ที่

ประกอบด้วย เอธิลีน (Ethylene) ไวนิล (Vinyl) และอะซิเตต (Acetate) หรืออาจมีการใช้วัสดุอื่นๆ เสริมเข้าไปซึ่งออกแบบมาเพื่อลดแรงกระแทก (Cushion or Cushioning) ในขณะวิ่งหรือเดิน

พื้นรองเท้าส่วนนอก (Outsole) เป็นส่วนประกอบของรองเท้าที่สัมผัสกับพื้นผิวที่วิ่งโดยตรง จึงทำให้เกิดการเสียดสีระหว่างรองเท้าและพื้นสนาม ซึ่งการเสียดสีที่เกิดขึ้นจะปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บ (Frederick, 1986; Nolan, 2004) ดังนั้นวัสดุที่ใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าส่วนนอกนี้จะถูกออกแบบตามความจำเป็นของพื้นสนามที่ใช้ในการเล่นกีฬา เช่น รองเท้ากีฬาในร่ม พื้นรองเท้าส่วนนอกจะต้องแบนราบ, งอได้ และสามารถทนต่อการเสียดสีที่เกิดขึ้นบ่อย ในขณะที่รองเท้าไต่เขาพื้นรองเท้าส่วนนอกจะต้องแข็งและสามารถทนต่อการเสียดสีที่มากกว่า ซึ่งวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตพื้นรองเท้าส่วนนอกส่วนมากคือ ยางสไตรีน บิวทาไดอิน (Styrene butadiene) หรือยางที่ทนต่อการเสียดสีมากๆ อย่างเช่น Vibram's Infinity ซึ่งเป็นยางที่ใช้ทำยางของรถแข่ง

ส่วนที่ห่อหุ้มนิ้วเท้า (Toebox หรือ Toe wrap) จะอยู่บริเวณด้านหน้าของรองเท้าทำหน้าที่ห่อหุ้มนิ้วเท้า (ภาพที่ 11) โดยจะต้องมีขนาดพอเหมาะเพื่อสามารถป้องกันการเสียดสีของนิ้วเท้ากับรองเท้าซึ่งจะก่อให้เกิดการบาดเจ็บที่นิ้วเท้าได้ และจะสามารถออกแบบส่วนนี้ให้กว้างหรือแคบตามความจำเป็นของลักษณะเท้าได้ (Cavanagh, 1980)



ภาพที่ 11 องค์ประกอบของรองเท้า

ส่วนรองรับส้นเท้า (Heel counter) เป็นส่วนที่ล้อมรอบอยู่ด้านหลังของส้นเท้าทำหน้าที่ควบคุมไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหวของส้นเท้าที่มากเกินไป ส่วนมากทำมาจากวัสดุที่มีน้ำหนักเบา เช่น การใช้แผ่นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) โดยส่วนนี้จะอยู่ในส่วนบนของรองเท้า (Nolan, 2004)

พื้นรองเท้าส่วนกลางของรองเท้ากีฬา

พื้นรองเท้าส่วนกลางในปัจจุบันได้รับการออกแบบให้สามารถดูดซับแรงกระแทก และทำหน้าที่กระจายแรงที่เกิดจากการกระแทกของเท้ากับพื้นได้ดี นอกจากนี้ยังมีส่วนช่วยในการพยุง (Support) และสร้างความมั่นคงให้กับเท้าไม่ให้เกิดการเคลื่อนไหวมากเกินไป (Frey, 1997) ทั้งนี้การมีส่วนช่วยในการพยุงเท้าเล็กน้อยจะส่งผลดีต่อสุขภาพและความรู้สึกสบายของเท้า

หน้าที่หลักของพื้นรองเท้าส่วนกลาง คือ การลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่เกิดขึ้นในช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น ด้วยการดูดซับแรงกระแทกจากพื้น (Cushioning) ที่จะส่งผ่านมายังเท้าและข้อเท้า (Nigg and Liu, 1999) โดยวัสดุที่ใช้หากมีความนุ่มและเปลี่ยนรูปได้จะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นได้ดี (Geritsen *et al.*, 1995; Lafortune *et al.*, 1996) ซึ่งโดยทฤษฎีแล้ว พื้นรองเท้าส่วนกลางที่หนาจะมีการเปลี่ยนรูปมากกว่าพื้นรองเท้าส่วนกลางที่บาง ทำให้ดูดซับแรงกระแทกได้ดีกว่า (Barnes and Smith, 1993) ทั้งนี้การเปลี่ยนรูปร่างของพื้นรองเท้าส่วนกลางนี้จะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ของรองเท้าและพื้นด้วย โดยการที่พื้นรองเท้าส่วนกลางถูกบีบอัดในขณะที่เท้ากระทบพื้นจะช่วยลดแรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนนั่ง และเมื่อปัจจัยต่างๆ เท่ากันพื้นรองเท้าส่วนกลางที่เปลี่ยนรูปได้ดีกว่าจะลดแรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนนั่ง และ Loading rate ได้มากกว่า (Aert and De Clercq, 1993) ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันในทางทฤษฎีว่า รองเท้าที่มี Cushioning มาก ความสามารถในการดูดซับแรงก็จะมาก

เป็นเวลามากกว่า 25 ปี ที่พื้นรองเท้าส่วนกลาง (Midssole) ได้ถูกปรับปรุงและพัฒนาเพื่อให้สามารถดูดซับแรงกระแทกและเหมาะสมกับนักกีฬา เช่น การพัฒนารองเท้าที่มีพื้นเรียบ (Converse All Stars) ด้วยการเพิ่มความหนาของพื้นรองเท้าส่วนกลางที่บริเวณส้นเท้า โดยเชื่อว่าจะช่วยลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่กระโดดหรือการวิ่งได้ดี (Nigg and Liu, 1999)

พื้นรองเท้าส่วนกลางของรองเท้ากีฬาส่วนมากจะใช้โฟมในการผลิต โดยมักใช้วัสดุพื้นฐาน 2 ชนิดมาผลิตเข้าด้วยกัน คือ Ethyl vinyl acetate (EVA) และ Polyurethane ซึ่งวัสดุ 2 อย่างนี้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกันมาก โดย EVA จะมีน้ำหนักเบา มีคุณสมบัติในการดูดซับแรงได้ดี และสามารถผลิตในลักษณะที่ความหนาแน่นแตกต่างกันได้ ในขณะที่ Polyurethane จะแน่นและมีน้ำหนักมากแต่กันกระแทกได้มากกว่า EVA วัสดุทั้งสองนี้จึงถูกนำมาใช้ร่วมกันเพื่อผลิตเป็นพื้นรองเท้าส่วนกลางที่มีความสามารถในการดูดซับแรงกระแทก นอกจากนี้พื้นรองเท้าส่วนกลางยังทำ

มาจากวัสดุที่หลากหลาย (Frey, 1997; Nigg, 1992) เช่น อากาศ หรือ Air (Nike), Gel (Asics), Silicone (Brooks), Honeycomb pads (Reebok and Puma) และ EVA (New Balance)

รูปแบบหนึ่งของการดูดซับแรง (Cushioning) ที่เป็นที่รู้จักกันมากที่สุดก็คือ Air midsole โดย Nike เป็นบริษัทแรกที่นำเสนอสิ่งนี้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1979 โดยใช้ถุงอากาศ (Air pockets) ไล่ลงไป ในแคปซูลในพื้นรองเท้าส่วนกลางเพื่อกระจายแรงและเพิ่มการดูดซับแรง (Frey, 1997) ซึ่งต่อมาได้ พัฒารูปแบบของ Air midsole ด้วยการเปลี่ยนแปลงรูปร่างและตำแหน่งของถุงอากาศในพื้นที่ รองเท้าให้มีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

รองเท้ากีฬาในปัจจุบันได้มีการใส่ Midsole cushioning ทั้งในบริเวณส่วนของส้นเท้า, ปลายเท้า หรือทั้งสองส่วน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับประเภทกีฬา (Frey, 1997) โดยผู้ผลิตได้พยายามพัฒนา รองเท้ากีฬาให้มีความเหมาะสมกับนักกีฬาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนไหวและป้องกันการ บาดเจ็บ

การออกแบบรองเท้าวิ่งที่ส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้น

มีการศึกษามากมายที่อธิบายถึงหน้าที่ของรองเท้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง ซึ่ง อิทธิพลของรองเท้าวิ่งที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นจะขึ้นอยู่กับรูปแบบของรองเท้าและความแข็งของ พื้นสนามที่ใช้วิ่ง (De Wit *et al.*, 1996) ทั้งนี้ได้มีการอธิบายถึงส่วนประกอบที่แตกต่างกันของพื้น รองเท้าที่ส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง โดยส่วนที่ทำหน้าที่ดูดซับแรงกระแทกของ รองเท้าวิ่งจะอยู่ที่บริเวณพื้นรองเท้าส่วนกลาง (Midsole) และส่วนใหญ่อยู่ที่ส้นเท้า พื้นรองเท้าส่วน นอก (Out sole) และถุงเท้าจะช่วยลดแรงกระแทกเพียงเล็กน้อยเท่านั้น (Cavanagh, 1980) ซึ่งมีการศึกษาที่พบความสัมพันธ์ระหว่างแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับพื้นรองเท้าส่วนกลางที่แข็ง (Komi *et al.*, 1987) โดยได้แสดงให้เห็นว่ามีแรงปฏิกิริยาจากพื้นเพิ่มขึ้นเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนกลาง แข็ง แต่ทั้งนี้ยังได้อธิบายเพิ่มว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นขึ้นอยู่กับความเร็วในการวิ่งมากกว่าพื้นรองเท้า ที่แข็ง โดยมีงานวิจัยจำนวนหนึ่งแสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นไม่เกี่ยวข้องกับความแข็ง ของพื้นรองเท้าส่วนกลาง (Clarke *et al.*, 1982; Nigg *et al.*, 1988; Stacoff *et al.*, 1988) โดย Stacoff *et al.* (1988) ได้ให้เหตุผลว่า อาจเกิดขึ้นจากการปรับตัวของนักวิ่งในสถานะที่แตกต่างกัน หรือจากการสวมใส่รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนกลางแตกต่างกัน

การดูดซับแรงกระแทก คือสิ่งที่มีบทบาทสำคัญที่สุดของรองเท้าวิ่ง ซึ่ง Luethi and Stacoff (1987) กล่าวว่า ในขณะที่วิ่งช่วงที่ส้นเท้ากระทบพื้น (Impact phase) ต้องการการดูดซับแรงกระแทกจากรองเท้าวิ่งมากที่สุดเพื่อลดแรงกระแทกที่ส้นเท้าและกระจายแรงที่เกิดขึ้นไปตามโครงสร้างของพื้นรองเท้า โดยการดูดซับแรงจะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุที่เท้าสัมผัส เช่น พื้น, พื้นรองเท้า, แผ่นรองส้นเท้า (Calcaneal fat pad) เป็นต้น ซึ่งคนส่วนใหญ่จะเลือกรองเท้าโดยดูจากส่วนที่ทำหน้าที่ในการดูดซับแรงกระแทกนี้ อย่างไรก็ตาม พื้นรองเท้าที่แข็งหรือนุ่มเกินไปก็สามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ โดยพื้นรองเท้าส่วนกลางที่มีส่วนดูดซับแรงที่ดีควรมีความแข็งอยู่ในระดับปานกลาง ซึ่งมีความแข็งประมาณ 35-45 Shore A

นอกจากนี้ Bates *et al.* (1983) ได้พบว่า เมื่อกลุ่มตัวอย่างสวมรองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงกระแทกแตกต่างกัน นักวิ่งจะมีการปรับตัว แต่นักวิ่งแต่ละคนจะมีความจำเพาะส่วนบุคคล จึงทำให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ยืนที่นักวิ่งได้มีความแปรปรวนสูงและรองเท้าแต่ละแบบจะทำหน้าที่ได้ดีแตกต่างกันในนักวิ่งแต่ละคน

Lin *et al.* (2004) ได้ทำการศึกษาในรองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงต่างกัน 3 แบบ โดยทำการวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่วิ่งอยู่บนลู่วิ่ง พบว่า รองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงแบบถุงอากาศบริเวณส้นเท้าสามารถลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่ส้นเท้ากระทบพื้นได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงแบบโฟม และรองเท้าแบบธรรมดาในขณะที่วิ่งเร็ว แต่ในขณะที่วิ่งช้าๆจะไม่พบความแตกต่างของค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่ส้นเท้ากระทบพื้นเมื่อสวมรองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงเป็นถุงอากาศกับโฟม อย่างไรก็ตามรองเท้าที่มีส่วนดูดซับแรงแบบถุงอากาศและแบบโฟม สามารถลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นรองเท้าแบบธรรมดาในขณะที่วิ่งด้วยความเร็วช้า

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น เครื่องหมายการค้า AMTI รุ่น OR6-7-4000 Serial No. 3813 ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา และโปรแกรมวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้น (The Arial Performance Analysis System; APAS) ผลิตจากประเทศสหรัฐอเมริกา

2. รองเท้าวิ่งที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้า (Forefoot Midsole หรือ Forefoot Cushioning) แตกต่างกัน ดังนี้

- ไม่มีการเสริมถุงอากาศ (Air) ในบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้าโดยวัสดุที่ใช้ทำจาก Phylon ส่วนส้นเท้าเป็นถุงอากาศ (Heel Max Air)



ภาพที่ 12 รองเท้าวิ่ง Nike รุ่น Air max 180+II (Running Shoe) For Men

- มีการเสริมถุงอากาศ (Air) ในบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้า โดยพื้นรองเท้าส่วนกลาง ตั้งแต่ส้นเท้าจนถึงปลายเท้าเป็นถุงอากาศทั้งหมด (Air-Sole)



ภาพที่ 13 รองเท้าวิ่ง Nike รุ่น Air max 360 II SL (Running Shoe) For Men

ทั้งนี้รองเท้าทั้ง 2 แบบ มีพื้นบริเวณส้นเท้าเป็นแบบเดียวกันคือมีการเสริมถุงอากาศ (Air)

3. ชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared Timer)

วิธีการ

กลุ่มประชากร

กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ คือ บุคลากรและนิสิตเพศชายของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ที่มีอายุระหว่าง 17-25 ปี และใช้บริการศูนย์ออกกำลังกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 113 คน กลุ่มประชากรต้องออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำ อย่างน้อยวันละ 45 นาทีและ 3 วันต่อสัปดาห์

กลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างในการวิจัยครั้งนี้ คือ บุคลากรและนิสิตเพศชายของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสนที่มีอายุระหว่าง 17-25 ปี และใช้บริการศูนย์ออกกำลังกายของคณะ วิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาเขตกำแพงแสน จำนวน 30 คน กลุ่มตัวอย่างออกกำลังกายโดยการวิ่ง เป็นประจำ อย่างน้อย 45 นาทีต่อวัน และวิ่ง 3 วันต่อสัปดาห์ กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มแบบ จำเพาะเจาะจง (Purposive random sampling) ภายใต้เงื่อนไข คือ ใส่รองเท้าเบอร์ 9 มีลักษณะของอุ้ง เท้าปกติ ไม่มีโรคและอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อที่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง

วิธีการทดลอง

ในการทดลองผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลในขณะที่กลุ่มตัวอย่างใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วน หน้าเป็นถุงอากาศกับพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม ดังนี้

1. ขณะสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ

1.1 บันทึกค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่วิ่ง เมื่อให้กลุ่มตัวอย่างวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตรต่อวินาที

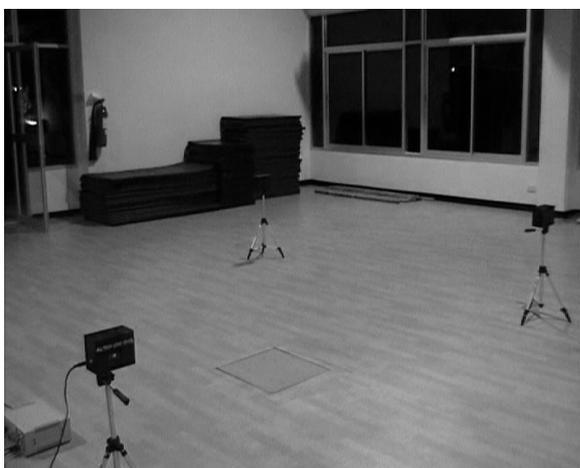
1.1.1 กำหนดระยะทางในการวิ่งและตำแหน่งที่เท้าสัมผัสกับแผ่นวัดแรง (Force platform) โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งระยะทางประมาณ 20-30 เมตร และตำแหน่งที่เท้าจะสัมผัส กับแผ่นวัดแรงจะต้องเป็นบริเวณกลางแผ่นพอดี

1.1.2 กำหนดเท้าที่สัมผัสกับแผ่นวัดแรง โดยให้เท้าข้างที่ถนัดเป็นข้างที่สัมผัส กับแผ่นวัดแรง ซึ่งจะให้กลุ่มตัวอย่างทดลองวิ่งช้าๆมาที่แผ่นวัดแรงเพื่อหาจังหวะและการวางเท้า เริ่มต้นสำหรับการทดสอบจริง

1.1.3 การวิ่งในการทดสอบ ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/ วินาที ตลอดระยะทางการวิ่ง โดยให้เท้าสัมผัสกลางแผ่นวัดแรงประมาณ 3-5 ครั้ง จากนั้นจึงให้วิ่ง

จริงและเก็บข้อมูลของการวิ่งทั้งหมด 5 ครั้ง ขณะที่ทำสัมผัสกับแผ่นวัดแรงแผ่นวัดแรงจะทำการบันทึกแรงปฏิกิริยาจากพื้น (GRF) ด้วยความถี่ 1000 ครั้ง/วินาที (Hz)

1.1.4 ความเร็วในการวิ่งถูกควบคุมโดยชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared timer) ร่วมกับชุดอุปกรณ์วัดเวลาปฏิกิริยา (Multi Choice Reaction Timer) โดยทำการติดตั้ง ตัวรับสัญญาณการเริ่มต้นไว้บริเวณจุดเริ่มต้นใกล้กับส่วนหน้าของแผ่นวัดแรง และตัวรับสัญญาณสิ้นสุดไว้ ณ ส่วนหลังของแผ่นวัดแรง และตัวรับสัญญาณเริ่มต้นจะห่างจากตัวรับสัญญาณสิ้นสุดเป็นระยะทาง 3 เมตร



ภาพที่ 14 ตำแหน่งของชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด

1.2 หลังจากให้กลุ่มตัวอย่างพักประมาณ 15 นาที จึงให้กลุ่มตัวอย่างสวมใส่รองเท้าแบบเดิมและทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง โดยทำการเก็บข้อมูลเหมือนกับการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตรต่อวินาที

2. ขณะสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

ทำการเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับการสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ โดยทำการเก็บข้อมูลในวันถัดไป

3. การวิเคราะห์หาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในการวิ่ง มีขั้นตอนดังนี้

3.1 ตัดสัญญาณรบกวน (Noise) ออกจากสัญญาณของแรงปฏิกิริยาจากพื้น โดยวิธี Fourth Order Recursive Butterworth Filtering โดยตัดสัญญาณรบกวนที่มากกว่า 30 Hz ออก ผ่านโปรแกรมที่เขียนจาก MATLAB Version 7.0

3.2 หาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง (Peak Vertical GRF) โดยการนำค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวแกนตั้งที่ตัดสัญญาณรบกวนออกแล้ว มาบันทึกค่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนตั้งโดยมีหน่วยเป็นจำนวนเท่าของน้ำหนักของร่างกาย (BW)

3.3 หาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด ที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้น (Propulsive Peak Force) โดยการนำค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังที่ตัดสัญญาณรบกวนออกแล้วมาหาปริมาณของค่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นในขณะที่ปลายเท้าผลักพื้นซึ่งมีหน่วยเป็นนิวตัน (N) เนื่องจากสามารถนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบระหว่างบุคคลได้เลย เพราะน้ำหนักร่างกาย (BW) ของแต่ละบุคคลจะไม่ส่งผลต่อปริมาณของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนนี้

3.4 รายงานลักษณะของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในรูปของกราฟ โดยนำค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ตัดสัญญาณรบกวนออกแล้วมาทำการหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยใช้โปรแกรมที่เขียนจาก MATLAB Version 7.0 จากนั้นจึงรายงานค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในรูปของกราฟ (Ensembled graph) ต่อเปอร์เซ็นต์ที่เท้าสัมผัสพื้น (%Stance phase)

4. การวิเคราะห์หาค่าอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

4.1 นำค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแนวแกนนอน หน้า-หลังที่ตัดสัญญาณรบกวนออกมาคำนวณหาค่าอิมพัลส์ โดยอิมพัลส์ในขณะวิ่งในแกนหน้า-หลังหาได้จากสมการ

$$\int_{t=0}^{t_{total}} GRF \cdot dt \quad \text{_____} (6)$$

โดย t_0 คือ เวลาที่เท้าเริ่มสัมผัสแผ่นวัดแรง, t_{total} คือ เวลาที่เท้าหลุดออกจากแผ่นวัดแรง, GRF คือ แรงปฏิกิริยาจากพื้น และ dt คือ เวลาที่เปลี่ยนไป

การใช้สถิติเพื่อการวิเคราะห์ข้อมูล

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ มีดังนี้

1. คำนวณหาค่าเฉลี่ย (Mean) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation) ของ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ความเร็วในขณะวิ่ง เวลาที่ทำสัมผัสพื้น แรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์

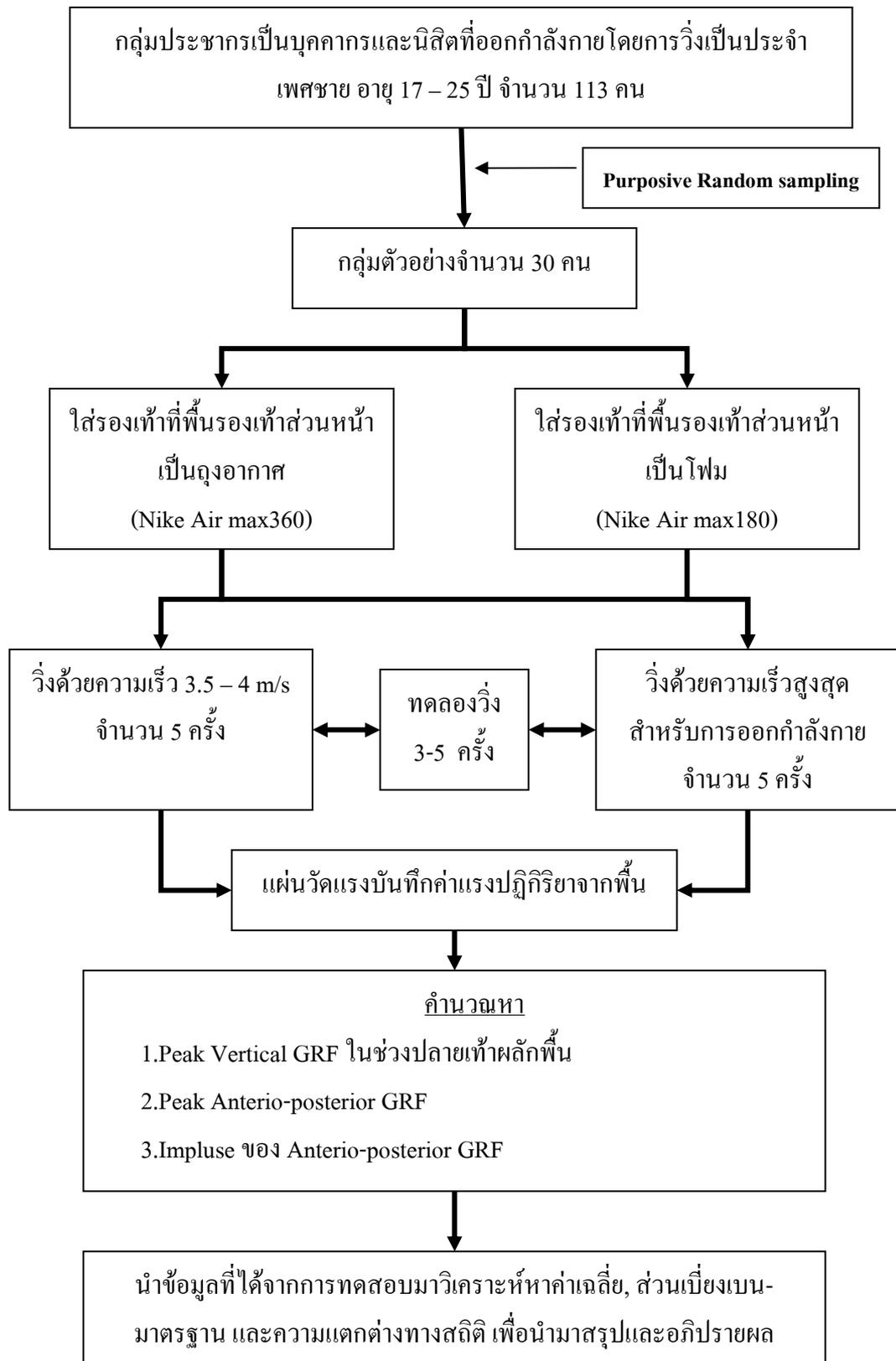
2. หาค่าความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-way MANOVA with repeated measure) และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่โดยใช้ Paired t-test เมื่อพบว่ามีความแตกต่างของค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นหรืออิมพัลส์

3. หาค่าความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกันโดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-way ANOVA with repeated measure)

4. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS program release 11.5 for Windows

ขั้นตอนการทดลอง



สถานที่และระยะเวลาในการทำวิจัย

สถานที่

สถานที่สำหรับการทำวิจัยครั้งนี้ คือ ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์-การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

ระยะเวลาในการทำวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ใช้ระยะเวลาดังต่อไปนี้ ตั้งแต่เดือนพฤศจิกายน 2550 ถึง เดือนกันยายน 2551

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ต่อการเลือกรองเท้าวิ่งที่เหมาะสม

แหล่งทุนสนับสนุน

ผู้วิจัยได้ใช้ทุนส่วนตัว

ผลและวิจารณ์

ผล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้นำผลจากการวัดค่าของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ที่ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย โดยให้ผู้วิ่งสวมรองเท้าที่มี ถุงอากาศและไม่มีถุงอากาศบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้า จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพบว่า ข้อมูลทั้งหมดมีการแจกแจงแบบโค้งปกติ จึงนำผลที่ได้มาทดสอบทางสถิติแบบวัดซ้ำ (Repeated) และทำการเปรียบเทียบความแตกต่างเป็นรายคู่โดยใช้ค่า “ที” (Paired t-test) แล้วนำเสนอในรูปแบบของ ตาราง และกราฟเส้นประกอบกับความเรียง ผลที่ได้แบ่งออกเป็น 3 ตอนดังนี้

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ ความเร็วในการวิ่ง และเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น

ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวม รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม (Phylon)

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ ในแกนหน้า-หลัง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการ ออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม (Phylon)

ตอนที่ 1 ลักษณะทางกายภาพ ความเร็วในการวิ่ง และเวลาที่ทำสัมผัสพื้น

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของลักษณะทางกายภาพ (อายุ น้ำหนัก และ ส่วนสูง) และความเร็วที่ใช้ในการวิ่ง

ลักษณะทางกายภาพ	$\bar{X} \pm SD$		
อายุ (ปี)	20.23 \pm 1.93		
น้ำหนัก (กก.)	64.23 \pm 5.79		
ส่วนสูง (ซม.)	172.60 \pm 4.07		
ความเร็วในการวิ่ง (เมตร/วินาที)	โฟม(phylon)	ถุงอากาศ	P
3.5-4 เมตร/วินาที	3.84 \pm 0.11	3.79 \pm 0.11	.084
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	6.59 \pm 0.97	6.56 \pm 0.95	.914

* P<.05

ตารางที่ 3 แสดง อายุ, น้ำหนัก และส่วนสูงเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง เมื่อควบคุมให้กลุ่มตัวอย่างวิ่งด้วยความเร็วที่กำหนดไว้ที่ 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย พบว่า กลุ่มตัวอย่างวิ่งด้วยความเร็วที่ไม่แตกต่างกัน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าต่างชนิดกัน นอกจากนี้ ตารางที่ 3 ยังแสดงให้เห็นว่า ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายที่กลุ่มตัวอย่างวิ่งจะมากกว่าความเร็วเมื่อวิ่งเหยาะๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) ประมาณ 1.7 เท่า

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น (แกนหน้า-หลัง)

เวลาที่เท้าสัมผัสพื้น	ความเร็ว	พื้นรองเท้าส่วนหน้า		P
		โฟม	ถุงอากาศ	
ระยะ	3.5-4 เมตร/วินาที	0.116 ± 0.0092	0.119 ± 0.0097	.370
ขับเคลื่อน	ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	0.088 ± 0.0059	0.090 ± 0.0058	.163
	P	.000*	.000*	
ระยะหยุด	3.5-4 เมตร/วินาที	0.136 ± 0.0181	0.137 ± 0.0173	.959
	ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	0.101 ± 0.0166	0.097 ± 0.0172	.443
	P	.000*	.000*	

* P<.05

เมื่อกลุ่มตัวอย่างสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟมทำการวิ่งตามความเร็วที่กำหนดพบว่า ช่วงเวลาที่เท้าสัมผัสพื้นจากการสวมรองเท้าทั้งสองแบบในระยะขับเคลื่อนและระยะหยุดไม่แตกต่างกันไม่ว่าจะวิ่งด้วยความเร็วเท่าใดก็ตาม ทั้งนี้การวิ่งเร็วๆจะทำให้เวลาที่เท้าสัมผัสพื้นลดลง (P = .000*)

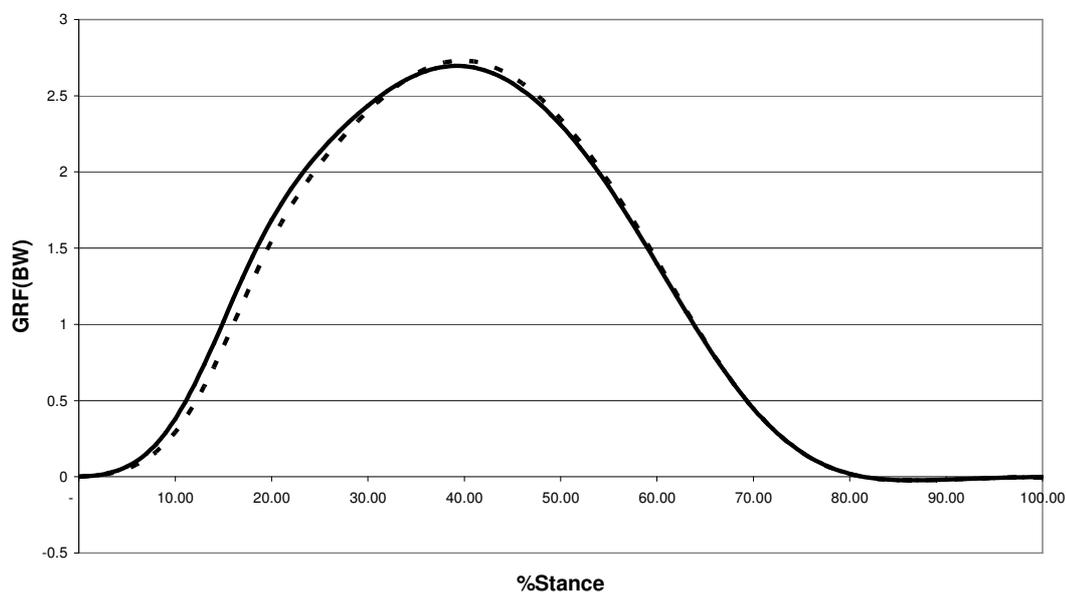
ตอนที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม (Phylon)

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็น โฟม (Phylon)

ส่วนดูดซับแรงบริเวณ ปลายเท้า	แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง		P
	ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	ความเร็วสูงสุดสำหรับ การออกกำลังกาย	
ถุงอากาศ (Airmax 180)	2.78 ± 0.23	2.95 ± 0.29	.000*
โฟม Phylon (Airmax 360)	2.75 ± 0.22	2.96 ± 0.31	.000*
P	.059	.652	

* P<.05

จากตารางที่ 5 พบว่า การที่วัสดุเป็นถุงอากาศหรือเป็น โฟม (Phylon) ที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าไม่ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่แตกต่างกัน นั่นหมายถึง พื้นรองเท้าส่วนหน้าที่เป็นถุงอากาศไม่ได้ลดแรงกระทำจากพื้นที่กระทำต่อเท้าในแกนตั้งมากกว่าพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่เป็น โฟม นอกจากนี้ ตารางที่ 4 ยังแสดงให้เห็นถึง ผลของความเร็วที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้น โดยเมื่อวิ่งด้วยความเร็วมากขึ้น แรงปฏิกิริยาจากพื้นจะมีค่ามากขึ้นไม่ว่าจะสวมรองเท้าแบบใด

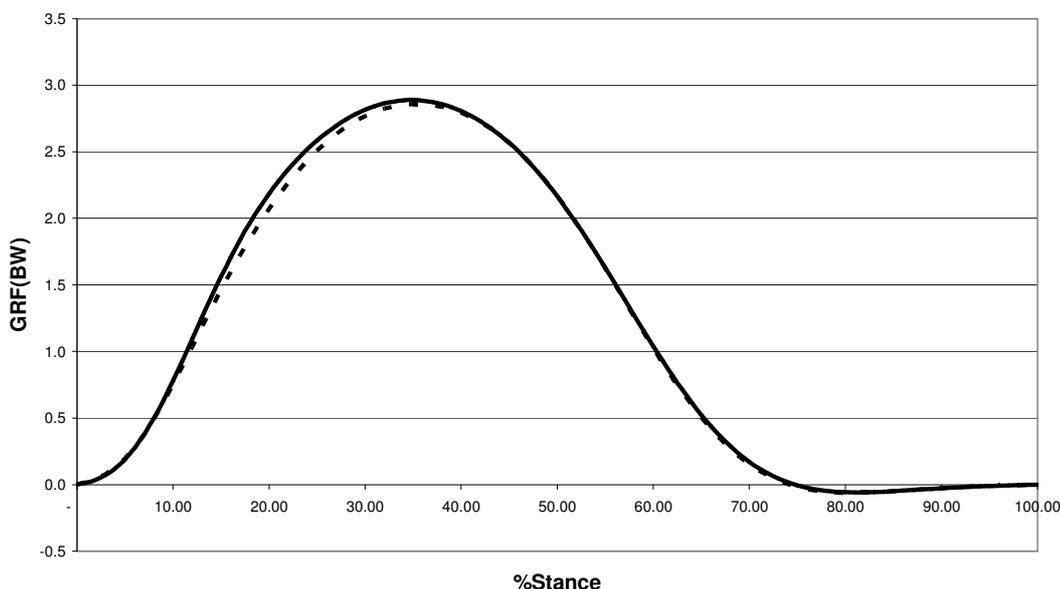


ภาพที่ 15 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นลู่อากาศ

จากภาพที่ 15 จะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งมีลักษณะเป็น Single peak หรือไม่มีการกระทบพื้นของส้นเท้า (Heel impact) แสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้กลุ่มตัวอย่างมีลักษณะของการวิ่งลงกลางเท้าหรือปลายเท้า (Midfoot or forefoot strikers) โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งมีค่าประมาณ 2.8 เท่าของน้ำหนักตัวและไม่แตกต่างกันเมื่อสวมรองเท้าในแต่ละแบบ ทั้งนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase)

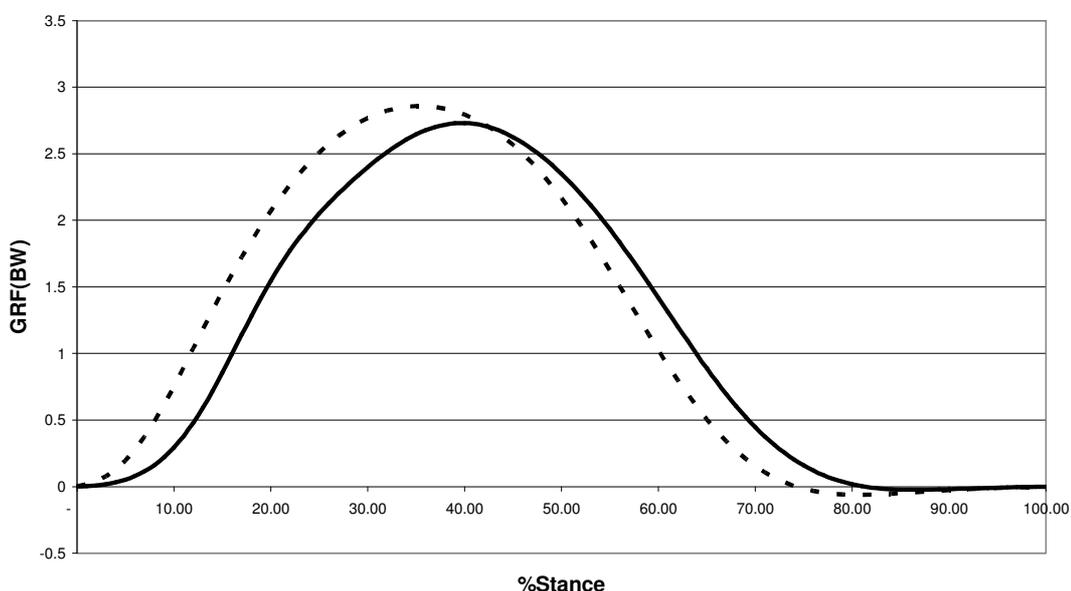


ภาพที่ 16 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นลู่อากาศ

จากภาพที่ 16 พบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งของการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายมีลักษณะเดียวกันกับแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งที่บันทึกเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที กล่าวคือ กราฟที่ได้จะมีลักษณะเป็น Single peak หรือไม่มีการกระทบพื้นของส้นเท้า (Heel impact) แสดงให้เห็นว่าการทดลองนี้กลุ่มตัวอย่างมีลักษณะของการวิ่งลงกลางเท้าหรือปลายเท้า (Midfoot or forefoot strikers) โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งมีค่าประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักตัวและไม่แตกต่างกันเมื่อสวมรองเท้าทั้ง 2 แบบ ทั้งนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 30-40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase)

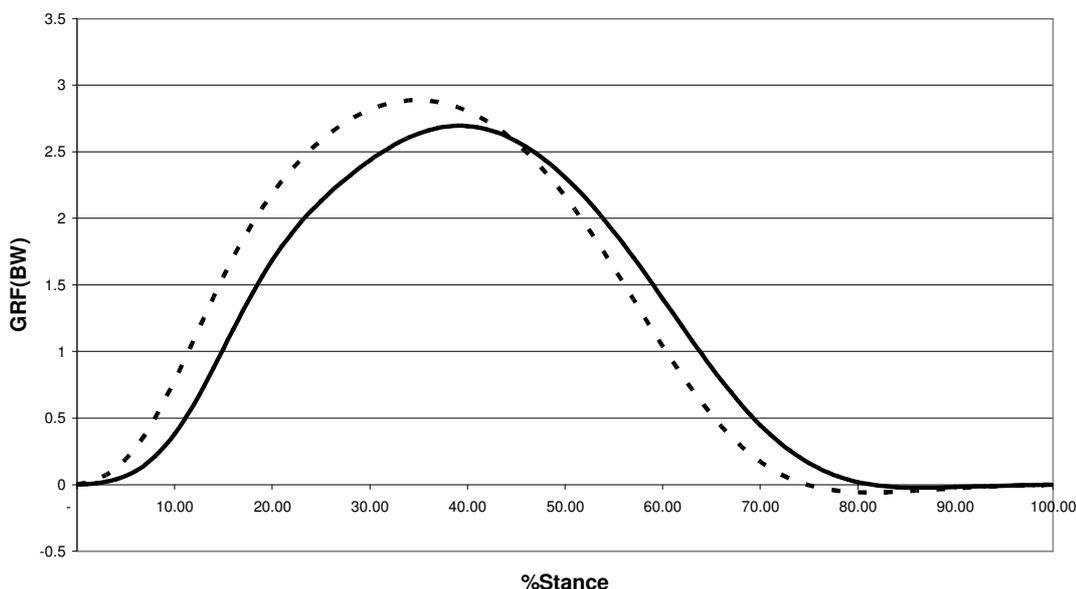


ภาพที่ 17 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วต่างกัน ในขณะที่สวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

จากภาพที่ 17 จะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งแตกต่างกันเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยการวิ่งด้วยความเร็วที่มากกว่าจะส่งผลให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเพิ่มขึ้นด้วย ทั้งนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายเกิดขึ้นเร็วกว่าการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที คือเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 35% และ 40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ตามลำดับ



ภาพที่ 18 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วต่างกัน ในขณะที่สวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

จากภาพที่ 18 แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งแตกต่างกันเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยการวิ่งด้วยความเร็วที่มากกว่าได้ส่งผลให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทั้งนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจะเกิดขึ้นเร็วกว่าการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที คือเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 35% และ 40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ตามลำดับ

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม (Phylon)

ตารางที่ 6 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุด สำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

ตัวแปร	พื้นรองเท้าส่วนหน้า		P
	โฟม($\bar{X} \pm SD$)	ถุงอากาศ($\bar{X} \pm SD$)	
Peak Anterior GRF (N)			
ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	207.84 \pm 43.01	193.79 \pm 34.43	.002*
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	309.36 \pm 58.29	309.33 \pm 52.98	.993
P	.000*	.000*	
Peak Posterior GRF (N)			
ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	241.19 \pm 65.28	257.68 \pm 66.10	.049*
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	305.19 \pm 96.02	310.41 \pm 106.8	.644
P	.000*	.003*	
Push-off Impulse(N.s)			
ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	13.30 \pm 2.83	12.72 \pm 2.40	.077
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	14.89 \pm 2.75	15.42 \pm 2.83	.004*
P	.000*	.000*	
Breaking Impulse(N.s)			
ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที	16.99 \pm 5.74	18.60 \pm 6.02	.034*
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	16.37 \pm 6.38	17.03 \pm 7.16	.368
P	.473	.171	

* P<.05

จากตารางที่ 6 พบว่า ในการวิ่งที่ความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) การสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดที่ผลักเท้าไปด้านหน้า (193.79 ± 34.43 นิวตัน) น้อยกว่าการสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม (207.84 ± 43.01 นิวตัน) แต่ในขณะเดียวกันการสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) ก็ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่ผลักเท้าไปด้านหลัง (257.68 ± 66.10 นิวตัน) มากกว่าการสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม (241.19 ± 65.28 นิวตัน) ด้วย นั่นหมายถึง รองเท้าที่มีถุงอากาศบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้าทำให้เกิดแรงกระทำจากพื้นที่ยับยั้งการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าของร่างกาย (Breaking Force) มากกว่ารองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำมาจากโฟม อย่างไรก็ตาม ความแตกต่างนี้พบเฉพาะเมื่อวิ่งช้าๆเท่านั้น โดยไม่พบความแตกต่างเมื่อนักวิ่งวิ่งเร็วขึ้น นอกจากนี้ความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้มีปริมาณเพียงเล็กน้อย ดังนั้น การสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกันนี้ไม่ได้มีผลต่อการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลังที่แตกต่างกันอย่างชัดเจน

ในส่วนของอิมพัลส์ที่ได้จากการวิ่งเมื่อสวมรองเท้าทั้งสองแบบ พบว่า เมื่อวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) รองเท้าทั้งสองแบบไม่ได้ทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ช่วยผลักร่างกายไปด้านหน้าแตกต่างกัน ในขณะที่เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย การสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศจะทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ผลักร่างกายไปด้านหน้า (15.42 ± 2.83 นิวตัน.วินาที) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (14.89 ± 2.75 นิวตัน.วินาที) เมื่อพิจารณาถึงอิมพัลส์ที่ผลักร่างกายไปทางด้านหลังนั้นพบว่าในขณะที่วิ่งด้วยความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) การสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ทำให้ร่างกายหยุดการเคลื่อนที่ไปข้างหน้า (18.60 ± 6.02 นิวตัน.วินาที) มากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (16.99 ± 5.74 นิวตัน.วินาที) แต่ไม่พบความแตกต่างระหว่างรองเท้าทั้งสองแบบเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด

ความเร็วในการวิ่งส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ดังนั้นเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่สูงขึ้นจะทำให้แรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนหน้า-หลังเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะเป็นแรงปฏิกิริยาสูงสุดจากพื้นในทิศทางใดก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเมื่อวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) ซึ่งการเพิ่มความเร็วในการวิ่งนี้ได้ส่งผลให้อิมพัลส์ที่ผลักร่างกายไปทางด้านหน้า (Push-off impulse) เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ($.000^*$) แต่ในขณะเดียวกันกลับไม่ส่งผลให้อิมพัลส์ในระยะหยุด (Breaking impulse) เพิ่มขึ้นด้วย

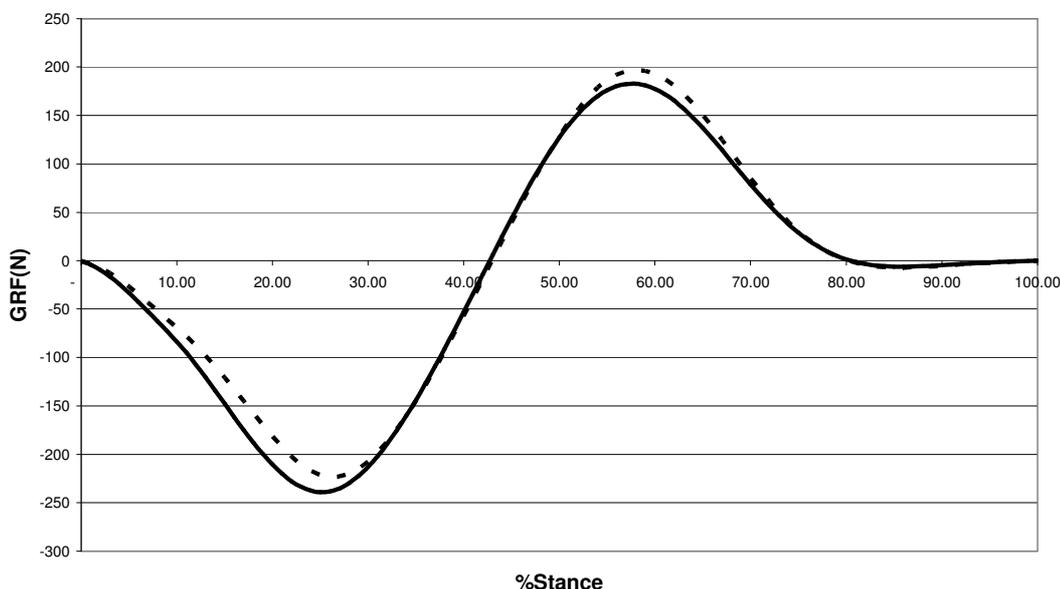
ตารางที่ 7 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ ในแกนหน้า-หลังของระยะขับเคลื่อนและระยะหยุด เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ขณะสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

พื้นรองเท้า ส่วนหน้า	แรงปฏิกิริยา จากพื้นสูงสุด	ความเร็วในขณะวิ่ง	
		3.5-4 เมตร/วินาที	ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย
โฟม	ระยะขับเคลื่อน	207.84 ± 43.01	309.36 ± 58.29
	ระยะหยุด	241.19 ± 65.28	305.19 ± 96.03
P		.033*	.849
ถุงอากาศ	ระยะขับเคลื่อน	193.79 ± 34.43	309.33 ± 52.98
	ระยะหยุด	257.68 ± 66.09	310.41 ± 106.89
P		.000*	.963
พื้นรองเท้า ส่วนหน้า	อิมพัลส์	ความเร็วในขณะวิ่ง	
		3.5-4 เมตร/วินาที	ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย
โฟม	ระยะหยุด	16.99 ± 5.74	16.37 ± 6.38
	ระยะขับเคลื่อน	13.30 ± 2.83	14.89 ± 2.75
P		.007*	.282
ถุงอากาศ	ระยะหยุด	18.60 ± 6.02	17.03 ± 7.16
	ระยะขับเคลื่อน	12.72 ± 2.40	15.42 ± 2.83
P		.000*	.290
ผลต่างระหว่างอิมพัลส์ระยะหยุดกับอิมพัลส์ระยะขับเคลื่อน			
ความเร็วในการวิ่ง	พื้นรองเท้าส่วนหน้า		P
	โฟม	ถุงอากาศ	
3.5-4 เมตร/วินาที	-3.68 ± 7.01	-5.88 ± 6.85	.225
ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย	-1.48 ± 7.39	-1.60 ± 8.14	.951

* P<.05

จากตารางที่ 7 พบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ของระยะขับเคลื่อนและระยะหยุดแตกต่างกันเมื่อวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ (3.5-4 เมตร/วินาที) ไม่ว่าจะสวมรองเท้าแบบใดก็ตาม โดยแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในระยะหยุดมีค่ามากกว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อน ซึ่งหมายความว่า เมื่อวิ่งช้าๆ รองเท้าทั้งสองแบบทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ยับยั้งการเคลื่อนที่ของร่างกายมากกว่าแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากการที่เท้าผลักพื้นเพื่อให้พื้นส่งแรงมายังนักวิ่งให้เคลื่อนตัวไปข้างหน้าได้ดี จึงส่งผลให้อิมพัลส์ในระยะหยุดมีค่ามากกว่าอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อน ดังนั้น เมื่อนักวิ่งสวมรองเท้าวิ่งทั้งสองแบบแล้ววิ่งช้าๆ นักวิ่งจะสูญเสียความเร็วทุกครั้งที่ทำกระทบพื้น ทั้งนี้ไม่พบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนและระยะหยุดเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ดังนั้นเมื่อสวมรองเท้าทั้งสองแบบวิ่งด้วยความเร็วที่มากขึ้นนักกีฬาสามารถรักษาความเร็วในการวิ่งให้คงที่ได้

เมื่อนำผลต่างระหว่างอิมพัลส์ระยะหยุดกับอิมพัลส์ระยะขับเคลื่อนมาพิจารณาหาความแตกต่างระหว่างรองเท้าทั้งสองชนิด คือ รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็น โฟม กับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ พบว่า รองเท้าทั้งสองแบบมีผลต่างของอิมพัลส์ระหว่างระยะหยุดกับระยะขับเคลื่อนไม่แตกต่างกัน ไม่ว่าจะวิ่งช้าหรือวิ่งเร็ว ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า รองเท้าทั้งสองชนิดมีผลต่ออิมพัลส์และความเร็วในการวิ่งไม่แตกต่างกัน



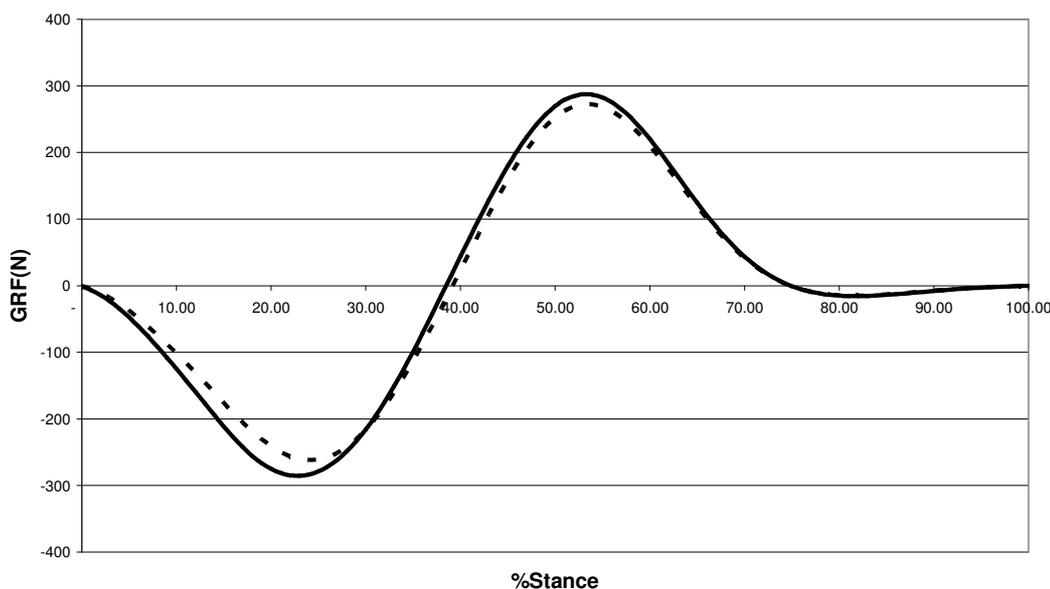
ภาพที่ 19 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ

จากภาพที่ 19 จะเห็นได้ว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังจะแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะหยุด (Breaking phase) ซึ่งก็คือช่วงที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังอยู่ในทิศทางลบ และระยะขับเคลื่อน (Push-off phase) ที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังอยู่ในทิศทางบวก โดยพบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศมีค่าน้อยกว่าในระยะขับเคลื่อน และมีค่ามากกว่าในระยะหยุดเมื่อเปรียบเทียบกับพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่เป็นโฟม ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากรองเท้าทั้งสองแบบในระยะขับเคลื่อนจะพบว่าไม่แตกต่างกัน จึงทำให้อิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนไม่แตกต่างกันด้วย นอกจากนี้ยังพบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในระยะขับเคลื่อนนี้เกิดขึ้นในช่วงประมาณ 50-60% ของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาพื้นที่ใต้กราฟในระยะหยุดจะพบว่าอิมพัลส์ที่เกิดขึ้นเมื่อสวมรองเท้าแบบพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศมีปริมาณมากกว่าอิมพัลส์ที่

เกิดขึ้นเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม และแรงปฏิกิริยาสูงสุดของระยะหยุดนี้เกิดขึ้นในช่วงประมาณ 25% ของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase)



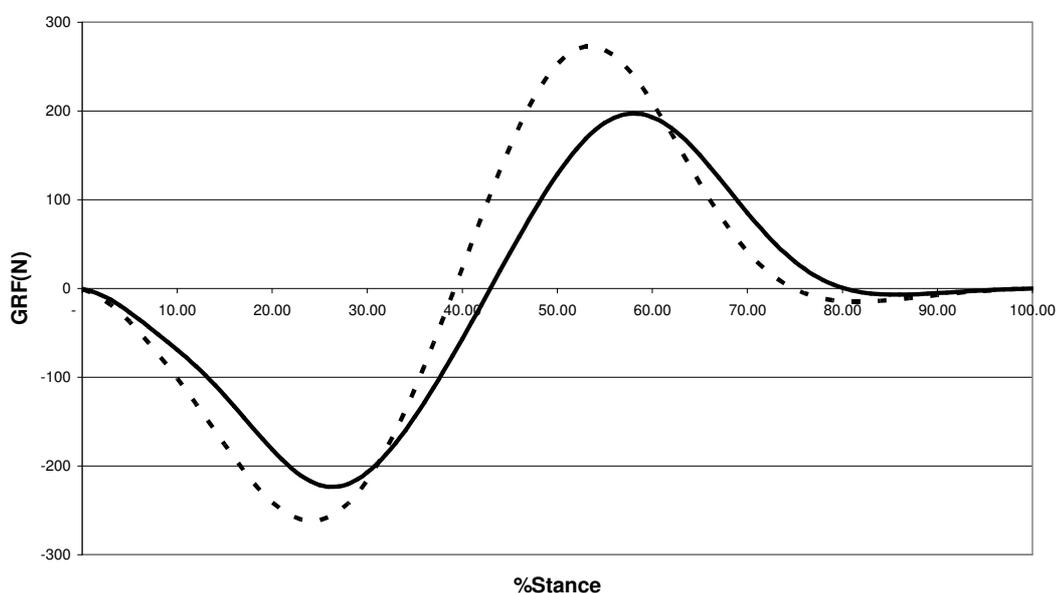
ภาพที่ 20 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ

ภาพที่ 20 แสดงผลของแรงปฏิกิริยาที่บันทึกได้จากแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายซึ่งเหมือนกันกับที่บันทึกได้เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที กล่าวคือ แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังแบ่งออกเป็น 2 ระยะ คือ ระยะหยุด (Braking phase) ซึ่งก็คือช่วงที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังอยู่ในทิศทางลบ และระยะขับเคลื่อน (Push-off phase) ที่แรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังอยู่ในทิศทางบวก โดยแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่บันทึกได้ในขณะใส่รองเท้าทั้งสองแบบไม่แตกต่างกัน ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของแรง

ปฏิกริยาจากพื้นที่บันทึกได้ในระยะขับเคลื่อนพบว่า พื้นที่ใต้กราฟของรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถูอากาศจะมีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้อิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม ในขณะที่ไม่พบความแตกต่างของอิมพัลส์ในระยะหยุด นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายแรงปฏิกริยาจากพื้นสูงสุดในระยะขับเคลื่อนจะเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 50-60% ของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ส่วนระยะหยุดจะเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 20-30% ของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase)



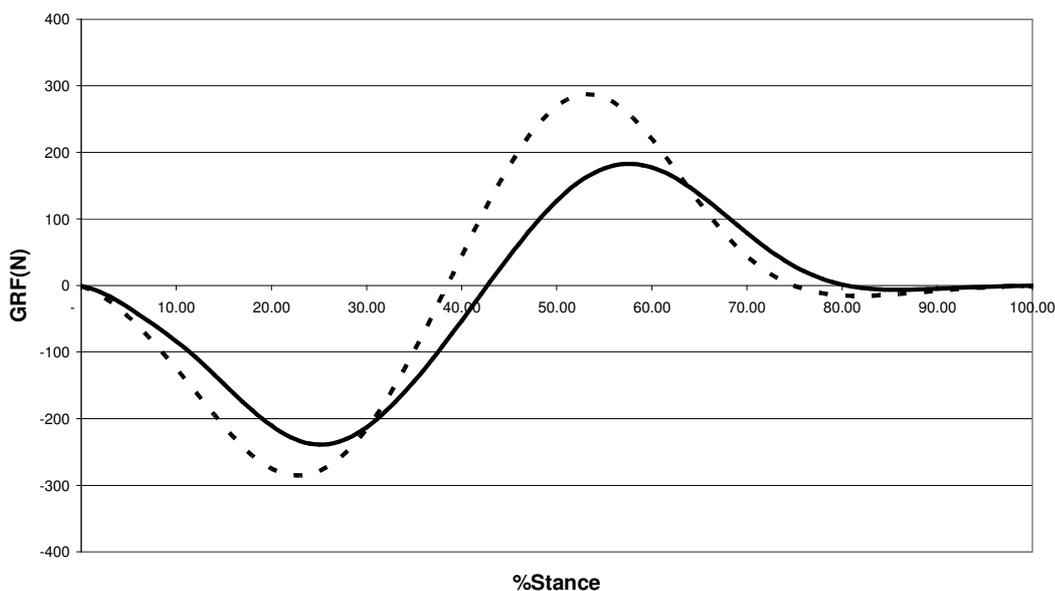
ภาพที่ 21 กราฟแสดงแรงปฏิกริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม และวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

เส้นทึบ คือแรงปฏิกริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

ภาพที่ 21 แสดงให้เห็นได้ว่าแรงปฏิกริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลังแตกต่างกันเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยความเร็วที่มากกว่าจะส่งผลให้แรงปฏิกริยาจากพื้นสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกริยาจากพื้นในระยะขับเคลื่อนจากการวิ่งทั้งสอง

ความเร็วพบว่ามีความแตกต่างกัน โดยพื้นที่ใต้กราฟของการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจะมีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้อิมพัลส์ในช่วงปลายเท้าหลักพื้นมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตาม ไม่พบความแตกต่างกันของอิมพัลส์ในระยะหยุด



ภาพที่ 22 กราฟแสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ และวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน

หมายเหตุ เส้นประ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

เส้นทึบ คือแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

ภาพที่ 22 แสดงให้เห็นว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดแกนหน้า-หลังมีความแตกต่างกันเมื่อสวมรองเท้าสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่มากกว่าจะส่งผลให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในระยะขับเคลื่อนจากการวิ่งทั้งสองความเร็วจะพบว่ามีความแตกต่างกัน โดยพื้นที่ใต้กราฟของการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

มีขนาดใหญ่กว่าจึงทำให้อิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนมีค่าสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที อย่างไรก็ตามกลับไม่พบความแตกต่างของอิมพัลส์ในระยะหยุด

วิจารณ์

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่แตกต่างกันที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง โดยให้กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งด้วยความเร็วระหว่าง 3.5-4 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ภายใต้สถานการณ์การสวมใส่รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกัน คือ รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศ (Air forefoot cushioning) และรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม (Phylon) แล้วทำการทดลองวิ่งผ่านแผ่นวัดแรงเพื่อหาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง, แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง จากนั้นนำผลที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ทำให้สามารถวิจารณ์ผลการทดลองออกเป็น 3 ประเด็น ดังนี้

1. แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วแตกต่างกัน
2. แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง เมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วแตกต่างกัน
3. ความเร็วในการวิ่งที่ส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วแตกต่างกัน

จากการวิจัยนี้ ในการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกัน ค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งที่ได้ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงสรุปได้ว่า โฟมและถุงอากาศสามารถดูดซับแรงกระทำจากพื้นบริเวณปลายเท้าได้ไม่แตกต่างกัน หรืออาจเป็นผลมาจากการปรับตัวของนักวิ่งก็ได้ (Stacoff *et al.*, 1988) ทั้งนี้กราฟที่แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งทั้งในการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจะมีลักษณะเป็น Single peak หรือไม่มีการกระทบพื้นของส้นเท้า (Heel impact) แสดงให้เห็นว่ากลุ่มตัวอย่างมีลักษณะของการก้าวเท้าแบบลงกลางเท้าหรือปลายเท้า (Midfoot or forefoot strikers) ทุกคน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Keller *et al.* (1996) ที่พบว่า ที่ความเร็วมากกว่า 3 เมตร/วินาที นักวิ่งจะวิ่งลงปลายเท้ามากขึ้น โดยค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งของการสวมรองเท้าทั้ง 2 แบบ จะอยู่ในช่วง 2.5-3 เท่าของน้ำหนักตัว ตรงกับการศึกษาที่ผ่านมาที่กล่าวไว้ว่าในการวิ่งที่ความเร็วในการวิ่งใกล้เคียงกับ 3.5-4 เมตร/วินาทีจะทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งประมาณ 3 เท่าของน้ำหนักตัว (Cavanagh and LaFortune, 1980; Nilsson and Thorstenson, 1989) นอกจากนี้ยังพบว่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเกิดขึ้นในช่วงประมาณ 30-40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ตามที่ Mumro *et al.* (1987) ได้รายงานไว้ว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งจะเกิดขึ้นในช่วงครึ่งหนึ่งของระยะที่เท้าสัมผัสพื้น

แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าแตกต่างกันและวิ่งด้วยความเร็วแตกต่างกัน

เมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที การสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศจะทำให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ผลักปลายเท้าไปทางด้านหน้ามีค่าต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม แต่เมื่อพิจารณาถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ผลักเท้าไปทางด้านหลังจะพบว่า การสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศวิ่งทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่ผลักเท้าไปด้านหลังมากกว่าการสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม นั่นแสดงว่า รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศถึงแม้ว่าจะทำให้แรงปฏิกิริยาสูงสุดในระยะขับเคลื่อนลดลงแต่ในขณะเดียวกันก็ทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาสูงสุดในระยะหยุดมากกว่าด้วยเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่

พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม ดังนั้นประสิทธิภาพในการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังจึงไม่มีความแตกต่างกันอย่างชัดเจนระหว่างรองเท้าทั้งสองแบบเมื่อวิ่งช้าๆ เช่นเดียวกันเมื่อวิ่งเร็วขึ้นด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย พบว่า แรงปฏิกิริยาจากพื้นในช่วงปลายเท้าผลักดันไม่แตกต่างกันเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศหรือเป็นโฟม ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ว่าเมื่อวิ่งเร็วขึ้นทำให้มีแรงอัดที่ถุงอากาศบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้าอย่างรวดเร็ว ถุงอากาศจึงไม่สามารถช่วยกระจายแรงได้ดีเท่าที่ควร ดังนั้นในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย พบว่า รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศไม่มีประสิทธิภาพในการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นได้ดีกว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม หรืออาจเกิดจากการปรับตัวของนักวิ่ง (Stacoff *et al.*, 1988) หรือความแปรปรวนตามความจำเพาะของบุคคล โดยรองเท้าจะทำหน้าที่ได้ดีแตกต่างกันตามนักวิ่งที่แตกต่างกัน (Bates *et al.*, 1983) เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้กลุ่มตัวอย่างเป็นบุคคลที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำไมใช่นักวิ่งทำให้ความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจึงแตกต่างกันมากและมีความแปรปรวนสูงซึ่งอาจส่งผลต่อการวิเคราะห์ทางสถิติ

เมื่อวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ ที่ 3.5-4 เมตร/วินาที การสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศจะทำให้มีอิมพัลส์ในระยะหยุดมีค่ามากกว่าและมีอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม แต่เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอิมพัลส์ระหว่างระยะหยุดและระยะขับเคลื่อน (ตารางที่ 7) พบว่าการสวมรองเท้าทั้งสองแบบให้ผลไปในทิศทางเดียวกัน นั่นคือ อิมพัลส์ในระยะหยุดมากกว่าอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อน นอกจากนี้ผลต่างของอิมพัลส์ระยะขับเคลื่อนกับระยะหยุด (ตารางที่ 7) ไม่แตกต่างกันเมื่อเปรียบเทียบกันระหว่างรองเท้าทั้งสองแบบ ดังนั้น การสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศจึงไม่มีประสิทธิภาพในการทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ช่วยผลักดันร่างกายไปข้างหน้าได้ดีกว่ารองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมเมื่อวิ่งช้าๆ แต่เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจะพบว่าทำให้เกิดอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนมากกว่าเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (ตารางที่ 6) แต่กลับไม่พบความแตกต่างของอิมพัลส์ในระยะหยุดระหว่างรองเท้าทั้งสองแบบ แสดงให้เห็นว่า รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ผลักดันร่างกายไปข้างหน้าได้ดีกว่ารองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมถึงกระนั้นเมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของอิมพัลส์ระหว่างระยะขับเคลื่อนและระยะหยุด และผลต่างของอิมพัลส์ระยะขับเคลื่อนกับระยะหยุด (ตารางที่ 7) พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน แสดงให้เห็นว่า รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศไม่ได้ช่วยให้นักวิ่งวิ่งเร็วขึ้นแต่อย่างใดเมื่อ

เปรียบเทียบกับรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

ความเร็วในการวิ่งที่ส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

ค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยความเร็วที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดให้เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Nilsson and Thorstensson (1989) ที่พบความสัมพันธ์แบบแปรผันตามกันระหว่างแรงในการผลักเท้าสูงสุด (Push-off peak) กับความเร็วในการวิ่ง โดยได้มีการรายงานว่า แรงในการผลักเท้าสูงสุด (Push-off peak) จะเพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรงตลอดในการวิ่งด้วยความเร็ว 3-6 เมตร/วินาที (Keller *et al.*, 1996; Munro *et al.*, 1987) ซึ่งสอดคล้องกับความเร็วที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้ ทั้งนี้จากกราฟที่แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นที่บ้านทีกได้ในขณะสวมรองเท้าทั้งสองแบบวิ่ง โดยเปรียบเทียบตามอัตราส่วนร้อยละที่เท้าสัมผัสพื้น (%Stance phase) พบว่า เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายทำให้เกิดแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดเร็วกว่าการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที คือช่วงประมาณ 35% และ 40% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ตามลำดับ

เมื่อวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกันทำให้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลังที่บ้านทีกได้แตกต่างกันด้วย โดยการวิ่งด้วยความเร็วที่มากกว่าจะส่งผลต่อค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดให้เพิ่มสูงขึ้นด้วย ซึ่งสอดคล้องกับ Nilsson and Thorstensson (1989) ที่พบความสัมพันธ์แบบเส้นตรงของแรงปฏิกิริยาสูงสุดในแกนหน้า-หลัง (A-P GRF) กับความเร็วของการวิ่ง นอกจากนี้เมื่อพิจารณาถึงพื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกิริยาจากพื้นซึ่งก็คืออิมพัลส์นั้น พบว่า พื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับเวลาในระยะขับเคลื่อนเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายมีขนาดใหญ่กว่าพื้นที่ใต้กราฟของแรงปฏิกิริยาจากพื้นกับเวลาเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที จึงทำให้อิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที ตรงกับการศึกษาของ Munro *et al.* (1987) ที่พบว่าอิมพัลส์ในระยะขับเคลื่อนจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วในการวิ่งเพิ่มมากขึ้น อย่างไรก็ตามกลับไม่พบความแตกต่างของอิมพัลส์ในระยะหยุดแม้ว่าความเร็วในการวิ่งจะเพิ่มขึ้นไม่ว่าจะสวมรองเท้าแบบใดวิ่ง นอกจากนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดที่เกิดขึ้นเมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายจะเกิดขึ้นเร็วกว่าเมื่อวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที คือช่วงประมาณ 55% และ 60% ของช่วงที่เท้าสัมผัสพื้น (Stance phase) ตามลำดับ

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาถึงผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่แตกต่างกัน ต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง กลุ่มตัวอย่างที่ทำการศึกษาคือผู้ที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำ เพศชาย อายุ 17 – 25 ปี ใส่รองเท้าเบอร์ 9 และมีอุ้งเท้าปกติรวมถึงไม่มีอาการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง จำนวน 30 คน โดยให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนทำการวิ่งผ่านแผ่นวัดแรงด้วยความเร็ว 3.5 เมตร/วินาที และความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย ความเร็วละ 5 ครั้ง ภายใต้สถานการณ์การใส่รองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่แตกต่างกัน 2 แบบคือ มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ (Air) และเป็นโฟม (Phylon) ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการบันทึกค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะที่วิ่งของกลุ่มตัวอย่าง แล้วทำการหาค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง แรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง

เมื่อวิเคราะห์ถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง พบว่า ไม่มีความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่แตกต่างกันทั้งในการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาทีและความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย แสดงให้เห็นว่าการสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ (Air) ไม่ได้ลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งที่เกิดขึ้นขณะวิ่งได้มากกว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (Phylon)

เมื่อวิเคราะห์ถึงแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนหน้า-หลัง พบว่า รองเท้าที่มีถุงอากาศบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้าไม่มีประสิทธิภาพในการลดแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังได้มากกว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม แต่เมื่อพิจารณาถึงปริมาณอิมพัลส์ที่ช่วยผลักเท้าไปทางด้านหน้าพบว่า รองเท้าทั้งสองแบบทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้าไม่แตกต่างกันเมื่อวิ่งด้วยความเร็วช้าๆ แต่รองเท้าที่มีถุงอากาศรองรับที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำให้เกิดอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้ามากกว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมเมื่อวิ่งเร็วขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาอิมพัลส์ที่หยุดร่างกายกับอิมพัลส์ที่ผลักร่างกายแล้ว พบว่ามีปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้น รองเท้าที่มีถุงอากาศรองรับบริเวณพื้นรองเท้าส่วนหน้าไม่น่าช่วยให้นักวิ่งวิ่งได้เร็วขึ้น

ความเร็วในการวิ่งส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่งโดยตรง กล่าวคือ เมื่อความเร็วในการวิ่งเพิ่มมากขึ้นแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์จะสูงขึ้นด้วย และเมื่อความเร็วในการวิ่งลดลงแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ก็จะลดลงด้วย ไม่ว่าจะสวมใส่รองเท้าแบบใดก็ตาม ดังนั้น ความเร็วในการวิ่งจึงเป็นปัจจัยหนึ่งในการบ่งชี้ถึงปริมาณของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดและอิมพัลส์

จากการวิจัยครั้งนี้ แสดงให้เห็นว่ารองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมหรือถุงอากาศไม่ส่งผลต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้ง และแกนหน้า-หลัง อย่างไรก็ตาม การสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศวิ่ง ทำให้มีอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้ามากกว่าเมื่อสวมรองเท้าที่มีพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมวิ่งที่ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย แต่ปริมาณอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหน้ามีปริมาณใกล้เคียงกับอิมพัลส์ที่ผลักเท้าไปทางด้านหลัง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพในการป้องกันการบาดเจ็บและควบคุมความเร็วในการวิ่งของรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำจากถุงอากาศ ไม่ได้ดีกว่ารองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าทำจากโฟมอย่างชัดเจน

ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากกลุ่มตัวอย่างแต่ละคนมีความสามารถในการวิ่งที่แตกต่างกันรวมทั้งรูปแบบในการวิ่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นในการวิจัยครั้งต่อไปควรเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีความสามารถในการวิ่งใกล้เคียงกัน
2. หากพิจารณาถึงราคาของรองเท้า จะเห็นได้ว่ารองเท้าทั้ง 2 แบบมีราคาที่แตกต่างกันมาก แต่รองเท้าทั้ง 2 แบบมีประสิทธิภาพในการป้องกันการบาดเจ็บของเท้าไม่แตกต่างกันอย่างชัดเจน ดังนั้น รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม (Phylon) จึงน่าจะเหมาะสมแก่การเลือกซื้อมากกว่า รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ เนื่องจากมีราคาที่ถูกลง อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการวิจัยนี้อธิบายถึงความแตกต่างของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่เป็นถุงอากาศ (Air) และโฟมที่เป็น Phylon เท่านั้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

คารณี สัจจ์กุ่ม. 2547. ฟ้ตัดรอนท้กัฟ้คู้ก่องคูน. สารวทยาสาตร์การกัฟ้ 5(45): 4-7.

Adelaar, R.S. 1986. The practical biomechanics of running. **American Journal of Sports Medicine** 14: 497-500.

Aerts, P. and D. De Clercq. 1993. Deformation characteristics of the heel region of the shod foot during a simulated heel strike: the effect of varying midsole hardness. **Journal of Sports Sciences** 11: 449-461.

Barnes, R. A. and P. D. Smith. 1993. The role of footwear in minimizing lower limb injury. **Journal of Sports Sciences** 12: 341-353.

Bates, B.T., L.R. Osternig and J.A. Sawhill. 1983. An assessment of subject variability, subject-shoe interaction, and the evaluation of running shoes using ground reaction force data. **Journal of Biomechanics** 16(3): 181-91.

Cavanagh P.R. 1980. **The Running Shoe Book**. Anderson World, Mountain View.

Cavanagh P.R. 1982. The shoe-ground interface in running, pp. 30-44. In R.P. Mack, Ed. **The Foot and Leg in Running Sports**. The C.V. Mosby Company, St. Louis.

Cavanagh P.R. 1987. The biomechanics of the lower extremity action in distance running. **Foot and Ankle** 7: 197-217.

Cavanagh, P.R. and M.A. Lafortune. 1980. Ground reaction forces in distance running. **Journal of Biomechanics** 13: 397-406.

- Christina, K. A., S. C. White and L. A. Gilchrist. 2001. Effect of localized muscle fatigue on vertical ground reaction force and ankle joint motion during running. **Human Movement Science** 20: 257-276.
- Clarke, T. E., E. C. Frederick and L. B. Cooper. 1982. The effects of shoe cushioning upon selected force and temporal parameters in running. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 14(2): 144.
- Cole G. K., B. M. Nigg and G. H. Fick. 1995. Internal loading of the foot and ankle during impact in running. **Journal of Applied Biomechanics** 11: 25–46.
- Derrick, T. R., D. Dereu and S. P. McLean. 2002. Impacts and kinematic adjustments during an exhaustive run. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 34(6): 998-1002.
- Derrick, T. R., J. Hamill and G. E. Caldwell. 1998. Energy absorption of impacts during running at various stride lengths. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 30(1): 128-35.
- De Wit, B., D. D. De Clercq and P. Aerts. 1996. Ground reaction forces and spatio-temporal variables during barefoot and shod running. International Society of Biomechanics in Sports, pp. 252-255. In, Abrantes, J.M.C.S., Ed. **The XIV Symposium on biomechanics in sports**. Lisboa, Edicoes: FMH.
- Elliot, B. and T. Ackland, 1981. Biomechanical effects of fatigue on 10,000 meter running technique. **Research Quarterly for Exercise and Sport** 52(2): 160-166.
- Frederick, E. C. 1986. Biomechanical consequences of sports shoe design, pp. 375-400. In K. B. Pandoff, Ed. **Exercise and Sport Science Reviews**. Collamore-Macmillan, New York.
- Frey, C. 1997. Footwear and stress fractures. **Clinical Journal of Sports Medicine** 16: 249-257.

- Gerlach, K. E., S. C. White, H. W. Burton, J. M. Dorn, J. J. Leddy and P. J. Horvath. 2005. Kinetic changes with fatigue and relationship to injury in female runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 37(4): 657-63.
- Gerritsen, K. G., A. J. van den Bogert and B. M. Nigg. 1995. Direct dynamics simulation of the impact phase in heel-toe running. **Journal of Biomechanics** 28: 661-668.
- Gheluwe, V. B. and C. Madsen, 1997. Frontal rear-foot kinematics in running prior to volitional exhaustion. **Journal of Applied Biomechanics** 13: 66-75.
- Hamill J., B. T. Bates, K. M. Knutzen and J.A. Sawhill. 1983. Variations in ground reaction force parameters at different running speeds. **Human Movement Science** 2: 47-56.
- Hamilton, N. and K. Luttgens. 2002. **Kinesiology, Scientific Basis of Human Motion**, 10thed. Boston, MA: McGraw-Hill. Chapter 19, pp. 480-484.
- Hreljac, A., R. N. Marshall and P. A. Hume. 2000. Evaluation of lower extremity overuse injury potential in runners. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 32(9): 1635-41.
- Keller, T. S., A. M. Weisberger, J. L. Ray, S. S. Hasan, R. G. Shiavi and D. M. Spengler. 1996. Relationship between vertical ground reaction force and speed during walking, slow jogging, and running. **Clinical Biomechanics** 11(5): 253-259.
- Komi, P. V., A. Gollhofer, D. Schmidtbleicher and U. Frick. 1987. Interaction Between Man and Shoe in Running: Considerations for a More Comprehensive Measurement Approach. **International Journal of Sports Medicine** 8(3): 196-202.
- Lafortune, M. A., E. M. Hennig, and M. J. Lake. 1996. Dominant role of interface over knee angle for cushioning impact loading and regulating initial leg stiffness. **Journal of Biomechanics** 29:1523-1529.

- Lees, A., M. Lake and L. Klenerman. 2005. Shock absorption during forefoot running and its relationship to medial longitudinal arch height. **Foot & Ankle International** 26(12): 1081-8.
- Lin, C. S., Y-H Nien, T-Y Hung, C-K Su and T. Y. Shiang. 2004. The ground reaction forces of running on different cushioning treadmills. **The Engineering of Sport** 5(2): 503-508.
- Luethi, S. M. and A. Stacoff. 1987. The influence of shoe on foot mechanics in running, pp. 72-85. In B. Van Gheluwe & J. Atha, Eds. **Medicine and Sport Science: Current Research in Sports Biomechanics (Vol. 25)**. Karger, Basel, Switzerland.
- Mercer, J. A., B. T. Bates, J. S. Dufek and A. Hreljac. 2003. Characteristics of shock attenuation during fatigued running. **Journal of Sports Sciences** 21(11): 911-9.
- Munro, C. F., D. I. Miller and A. J. Fuglevand. 1987. Ground reaction forces in running: a reexamination. **Journal of Biomechanics** 20(2): 147-155.
- Nachbauer, W. and B. M. Nigg. 1992. Effects of arch height of the foot on ground reaction forces in running. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 24(11): 1264-9.
- Nigg, B.M. 2001. The role of impact forces and foot pronation – a new paradigm. **Clinical Journal of Sports Medicine** 11: 2-9.
- Nigg, B. M. and B. Segesser. 1992. Biomechanical and orthopedic concepts in sport shoe construction. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 24: 595-602.
- Nigg, B. M. and W. Liu. 1999. The effect of muscle stiffness and damping on simulated impact force peaks during running. **Journal of Biomechanics** 32: 849-856.

- Nigg, B. M., A. Khan, V. Fisher and D. Stefanyshyn. 1998. Effect of shoe insert construction on foot and leg movement. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 30: 550-555.
- Nigg, B. M., H. A. Bahlsen, S. M. Luethi and S. Stokes. 1988. The influence of running velocity and midsole hardness on external impact forces in heel-toe running. **Journal of Biomechanics** 21(3): 267.
- Nilsson, J. and A. Thorstensson. 1989. Ground reaction forces at different speeds of human walking and running. **Acta physiologica Scandinavica** 136(2): 217-27.
- Nolan, K. J. 2004. **The Influence of Variations in Shoe Midsole Density on the Impact Force and Kinematics of Landing in Female Volleyball Players**. Ph.D.Thesis, The University of Toledo.
- Novacheck T. F. 1998. The biomechanics of running. **Gait Posture** 7: 77-95.
- Nutalaya C. 2003. **Biomechanical Analysis of the Stance Phase between Barefoot and different Hardness Running Shoes**. M.S.Thesis, Mahidol University.
- Radin, E. L. 1986. Role of muscles in protecting athletes from injury. **Acta medica Scandinavica Supplementum** 711, 143-7.
- Rossi, D. G., P. Fiolkowski, M. B. Horodyski, M. Bishop and M. Trimble. 2005. For how long do temporary techniques maintain the height of the medial longitudinal arch. **Physical therapy in sport** 5: 84-89.
- Scott S. H. and D. A. Winter. 1990. Internal forces at chronic running injury sites. **Medicine and Science in Sports and Exercise** 22: 357-369.

Simkin, A., I. Leichter, M. Giladi, M. Stein and C. Milgrom. 1989. Combined effect of foot arch structure and an orthotic device on stress fractures. **Foot & Ankle** 10(1): 25-9.

Stacoff, A., J. Denoth, X. Kaelin and E. Stuessi. 1988. Running injuries and shoe construction: Some possible relationships. **International Journal of Sport Biomechanics** 4: 342-357.

Verbitsky, O., J. Mizrahi, A. Voloshin, J. Treiger and E. Isakov. 1998. Shock transmission and fatigue in human running (Transmission des chocs et de la fatigue pendant la course). **Journal of Applied Biomechanics** 14(3): 300-311.

Watanatada P. 2001. **Comparison of leg spring characteristics during running using mass-spring-damper modeling**. Ph.D. Thesis, Oregon State University.

Williams, D. S. and I. S. McClay. 2000. Measurements used to characterize the foot and medial longitudinal arch: reliability and validity. **Physical Therapy** 80(9): 864-871.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือชุดอุปกรณ์วัดเวลาปฏิกิริยา



ที่ ศธ 0513.213 / ๘๕๘

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เลขที่ 50 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว
เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

19 พฤศจิกายน 2550

เรื่อง ขอบความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือชุดอุปกรณ์วัดเวลาปฏิบัติกริยา

เรียน หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา

สิ่งที่ส่งมาด้วย 1. โครงการวิทยานิพนธ์ จำนวน 1 ชุด

ด้วยนายภานุพล รัตนปนัดดา นิสิตปริญญาโท สาขาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้รับความเห็นชอบจากคณะกรรมการให้ทำการวิจัยประกอบวิทยานิพนธ์ในหัวข้อ เรื่อง “ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและการคลในขณะวิ่ง” (The Effects of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impluse during Running) โดยมี

- | | |
|----------------------------|---------------|
| 1. ผศ.ดร.สิริพร ศศิเมณฑกุล | ประธานกรรมการ |
| 2. รศ.ดร.สุพิตร สมานิติ | กรรมการร่วม |

ในการนี้คณะฯ ใคร่ขอความอนุเคราะห์จากท่านในการใช้เครื่องมือชุดอุปกรณ์วัดเวลาปฏิบัติกริยา เพื่อทำการเก็บรวบรวมข้อมูล ตั้งแต่วันที่ 20 พ.ย. 50 ถึง 31 ธ.ค. 50

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์แก่นิสิต คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาหวังเป็นอย่างยิ่งว่า คงได้รับความอนุเคราะห์จากท่าน และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(ผศ.ดร.สิริพร ศศิเมณฑกุล)

คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

โทร. 0- 2579-0594

โทรสาร 0-2942-8675

ภาคผนวก ข

บันทึกข้อความขอใช้สถานที่และยืมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย



บันทึกข้อความ

คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา	
รับที่	๑๒๘๓
วันที่	120 S.A. 2550
เวลา	15.50น.
กำกับตัว ๕๔	

ส่วนราชการ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โทรศัพท์ 3940

ที่ ศธ 0513.213/๑๐๕๖

วันที่ 1๔ ธันวาคม 2550

เรื่อง ขอใช้สถานที่และยิมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัย

เรียน คณบดีคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

ด้วย นายภาณุพล รัตนปนัดดา นิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จะทำการศึกษาวิจัยในหัวข้อเรื่อง “ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและการคลื่นขณะวิ่ง” (Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impluse during Running)

ภายใต้การควบคุมของ

ผศ.ศิริพร ศศิณชกุล, Ph.D. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รศ.สุพิตร สมานิติ, Ph.D. อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

ในการนี้ใคร่ขอความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ และยิมอุปกรณ์เพื่อใช้ในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. เครื่องวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น 1 เครื่อง
2. คอมพิวเตอร์และโปรแกรมวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้น 1 เครื่อง

ในการดำเนินการเก็บข้อมูลการวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการ ทุกวันวันจันทร์ ถึง วันอาทิตย์ตั้งแต่วันที่ 18 ธันวาคม 2550 ถึงวันที่ 28 ธันวาคม 2550 เวลา 12.00 – 22.00น.

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณา หวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านและขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

(นายภาณุพล รัตนปนัดดา)

นิสิตปริญญาโท คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

อนุญาต

๑๗๐
๒๒.๑๒

ภาคผนวก ค

หนังสือแสดงความยินยอมการเข้าร่วมใน โครงการวิจัย และรายละเอียดการวิจัย

หนังสือแสดงความยินยอมการเข้าร่วมในโครงการวิจัย

INFORMED CONSENT FORM

ข้าพเจ้า นาย

ให้ความยินยอมที่จะเข้าเกี่ยวข้องในการวิจัย/ค้นคว้า เรื่อง ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง (Effect of Forefoot Midsole on Ground Reaction Force and Impluse during Running) ซึ่งผู้วิจัย ได้แก่ นายภาณุพล รัตนปนัดดา ได้อธิบายต่อข้าพเจ้าเกี่ยวกับการวิจัยครั้งนี้แล้ว (ตามรายละเอียดที่แนบมากับหนังสือยินยอมนี้)

ผู้วิจัยมีความยินดีที่จะให้คำตอบต่อคำถามประการใดที่ข้าพเจ้าอาจจะมีได้ตลอดระยะเวลาการเข้าร่วมการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยรับรองว่าจะเก็บข้อมูลเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับข้าพเจ้าเป็นความลับ และจะเปิดเผยได้เฉพาะในรูปที่เป็นสรุปผลการวิจัย และผู้วิจัยจะได้ปฏิบัติในสิ่งที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายหรือจิตใจของข้าพเจ้าตลอดการวิจัยนี้ และรับรองว่าหากเกิดมีอันตรายใด ๆ จากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับการรักษาอย่างเต็มที่

ข้าพเจ้ายินยอมเข้าร่วมวิจัยโดยสมัครใจ และสามารถที่จะถอนตัวจากการวิจัยนี้เมื่อใดก็ได้ ทั้งนี้ โดยไม่มีผลกระทบต่อการรักษาพยาบาลที่ข้าพเจ้าจะได้รับ และในกรณีที่เกิดข้อข้องใจหรือปัญหาที่ข้าพเจ้าต้องการปรึกษากับผู้วิจัย ข้าพเจ้าสามารถติดต่อกับผู้วิจัยคือ นายภาณุพล รัตนปนัดดา ได้ที่ 600/345 ถ.เพชรเกษม 90 แขวงบางแคเหนือ เขตภาษีเจริญ กรุงเทพฯ 10160 โทรศัพท์เคลื่อนที่ 089 - 1217477

โดยการลงนามนี้ ข้าพเจ้าไม่ได้สละสิทธิ์ใด ๆ ที่ข้าพเจ้าพึงมีทางกฎหมาย

ลายมือชื่ออาสาสมัคร _____ วัน-เดือน-ปี _____
()

ลายมือชื่อผู้ให้ข้อมูลการวิจัย _____ วัน-เดือน-ปี _____
()

พยาน _____ วัน-เดือน-ปี _____
()

รายละเอียดการวิจัย

ชื่อเรื่อง ผลของพื้นรองเท้าส่วนหน้าที่มีต่อแรงปฏิกิริยาจากพื้นและอิมพัลส์ในขณะวิ่ง

กลุ่มตัวอย่าง คือ บุคลากรและนิสิตของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสนที่ใช้บริการศูนย์ออกกำลังกายของคณะวิทยาศาสตร์การกีฬา วิทยาเขตกำแพงแสน และออกกำลังกายโดยการวิ่งเป็นประจำ(ออกกำลังกายโดยการวิ่งอย่างน้อย 45 นาทีต่อวัน, 3 วันต่อสัปดาห์) เพศชาย อายุ 17 – 25 ปี จำนวน 30 คน จากกลุ่มประชากรทั้งหมด 113 คน ภายใต้งี้อุ่นใจ คือ ใส่รองเท้าเบอร์ 9 มีลักษณะของอุ้งเท้าปกติ ไม่มีโรคและอาการบาดเจ็บที่เป็นอุปสรรคต่อการวิ่ง

วิธีการทดลอง

ในการทดลองผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูลในขณะที่กลุ่มตัวอย่างใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศกับพื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม ดังนี้

1. ขณะสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ

1.1 บันทึกค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในขณะวิ่ง ให้กลุ่มตัวอย่างวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตรต่อวินาที

1.1.1 ให้กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งระยะทางประมาณ 20-30 เมตร และตำแหน่งที่เท้าจะสัมผัสกับแผ่นวัดแรงจะต้องเป็นบริเวณกลางแผ่นพอดี

1.1.2 ให้เท้าข้างที่ถนัดเป็นข้างที่สัมผัสกับแผ่นวัดแรง ซึ่งจะให้กลุ่มตัวอย่างทดลองวิ่งช้าๆมาที่แผ่นวัดแรงเพื่อหาจังหวะและการวางเท้าเริ่มต้นสำหรับการทดสอบจริง

1.1.3 ให้กลุ่มตัวอย่างทดลองวิ่งด้วยความเร็วที่กำหนดตลอดระยะทางการวิ่ง (วิ่งจนชนกับเบาะที่รองรับการกระแทกซึ่งอยู่ที่จุดสิ้นสุดการทดสอบ) โดยให้เท้าสัมผัสกลางแผ่นวัดแรงประมาณ 3-5 ครั้ง จากนั้นจึงให้วิ่งจริงและเก็บข้อมูลของการวิ่งทั้งหมด 5 ครั้ง โดยในขณะที่วิ่งจริงทำการบันทึกแรงปฏิกิริยาจากพื้น (GRF) ในขณะที่เท้ากระทบกลางแผ่นวัดแรง ดังนั้นจึงมีการบันทึกค่าแรงปฏิกิริยาจากพื้นในการวิ่งทั้งหมด 5 เที้ยว

1.1.4 ความเร็วในการวิ่งถูกควบคุมโดยชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared Timer) โดยทำการติดตั้งตัวรับสัญญาณการเริ่มต้นไว้บริเวณจุดเริ่มต้นใกล้กับส่วนหน้าของแผ่นวัดแรง และตัวรับสัญญาณสิ้นสุดไว้ ณ ส่วนหลังของแผ่นวัดแรง และตัวรับสัญญาณเริ่มต้นจะห่างจากตัวรับสัญญาณสิ้นสุดเป็นระยะทาง 3 เมตร

1.2 หลังจากให้กลุ่มตัวอย่างพักประมาณ 15 นาที จึงให้กลุ่มตัวอย่างสวมใส่รองเท้าแบบเดิมและทำการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายเท่าที่จะทำได้จำนวนทั้งหมด 5 ครั้ง โดยทำการเก็บข้อมูลเหมือนกับการวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตรต่อวินาที

2. ขณะสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟม

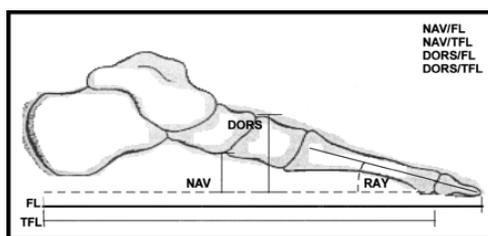
ทำการเก็บข้อมูลเช่นเดียวกับการสวมใส่รองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ โดยทำการเก็บข้อมูลในวันถัดไป

ภาคผนวก ง

วิธีการทดสอบลักษณะของอุ้งเท้า (Navicular height)

วิธีการทดสอบลักษณะของอุ้งเท้า (Navicular Height)

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้เข้าร่วมจะผ่านการตรวจลักษณะของอุ้งเท้าจากนักกายภาพบำบัด โดยใช้การทดสอบอุ้งเท้าแบบ Navicular height (NH) ซึ่งค่า Navicular height (NH) ได้จากค่าความสูงของกระดูก navicular (navicular height) ในขณะที่ยืน (ภาพผนวกที่ ๑) ซึ่งบ่งถึงความสูงของอุ้งเท้า



ภาพผนวกที่ ๑ แสดงความสูงของกระดูก navicular (navicular height)

โดยเริ่มต้นวัดในขณะที่ผู้เข้าร่วมยืนตรง หลังตรง สายตามองตรงไปข้างหน้า และให้เท้าทั้งสองข้างวางห่างกันเมื่อวัดจากขอบด้านในของกระดูกสันเท้า (calcaneus) เท่ากับ 20 เซนติเมตร นักกายภาพบำบัดคลำหาปุ่มกระดูก navicular (most anterior-inferior portion of the navicular) แล้วทำเครื่องหมายบนปุ่มกระดูกด้วยปากกาเมจิก วัดความสูงของกระดูก navicular ด้วยแผ่นกระดาษที่เตรียมไว้มาวัด โดยจัดแผ่นกระดาษให้ชิดกับบริเวณที่ทำเครื่องหมายไว้และให้แผ่นกระดาษตั้งฉากกับพื้น จากนั้นทำเครื่องหมายลงบนแผ่นกระดาษให้ตรงกับระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ที่ปุ่มกระดูก navicular (Rossi, 2005) ทำการวัดซ้ำ 3 ครั้ง แล้วใช้ค่าเฉลี่ยของการวัดซ้ำเป็นค่าความสูงของกระดูก navicular (navicular height)

ปัจจุบัน Navicular height ได้รับการยอมรับเพิ่มมากขึ้น Williams and McClay (2000) กล่าวว่า Navicular height เป็นวิธีการตรวจลักษณะของอุ้งเท้าและความสูงของอุ้งเท้าที่มีความน่าเชื่อถือและเที่ยงตรง สามารถนำมาแบ่งผู้ที่มีอุ้งเท้าปกติและอุ้งเท้าแบนได้ดังนี้

1. ผู้ที่มีอุ้งเท้าปกติ จะมีค่าของ navicular height (NH) ในช่วง 15-40 มิลลิเมตร
2. ผู้ที่มีอุ้งเท้าแบน จะมีค่าของ navicular height (NH) น้อยกว่า 15 มิลลิเมตร

ภาคผนวก จ

ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์และอุปกรณ์ที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



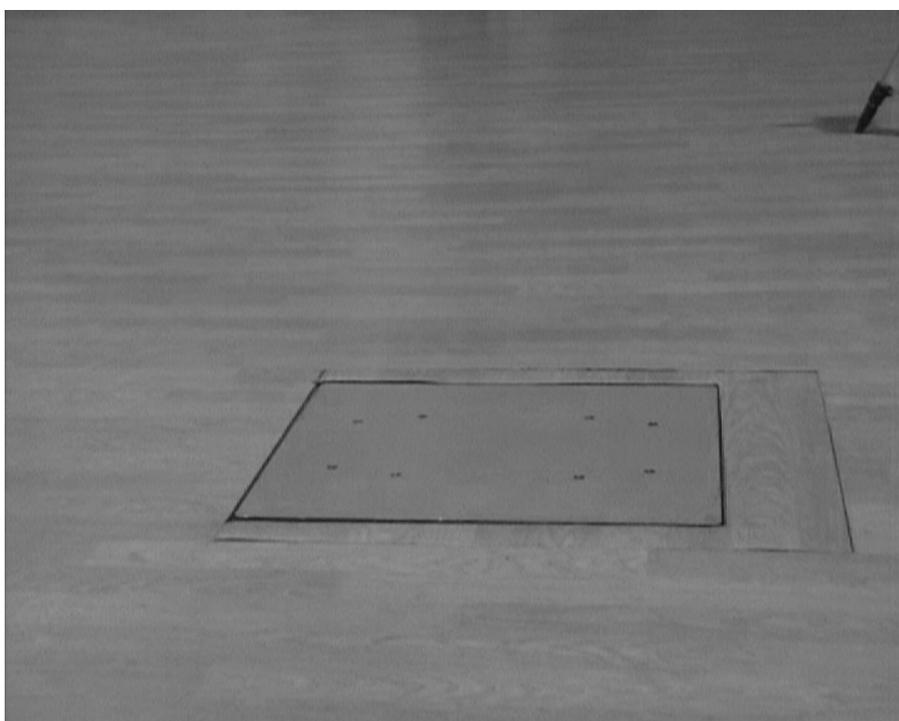
ภาพผนวกที่ จ1 การจัดวางอุปกรณ์ในห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์เพื่อใช้สำหรับเก็บข้อมูล



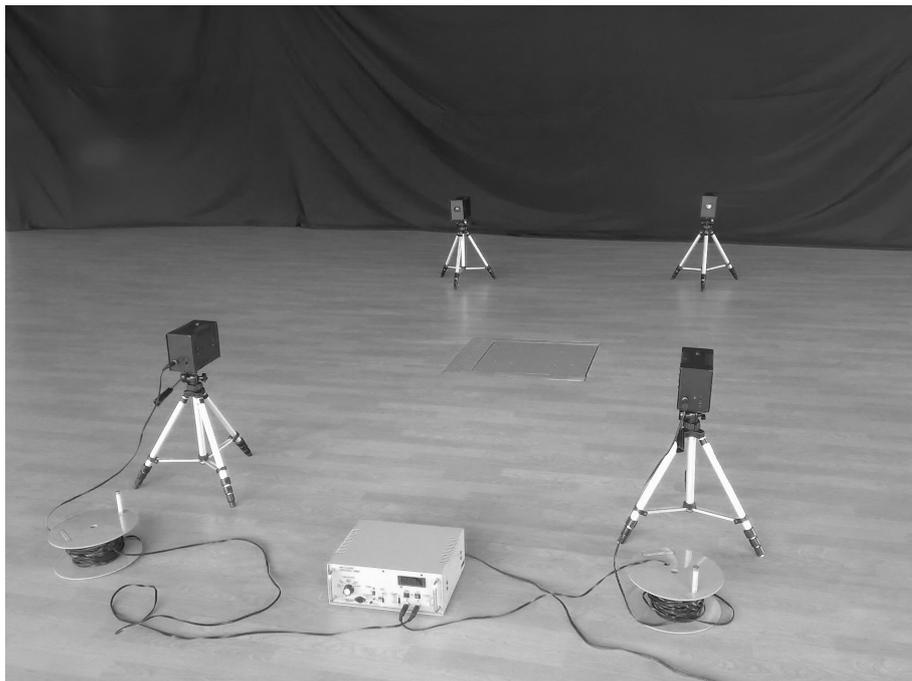
ภาพผนวกที่ จ2 ทางวิ่งที่เชื่อมต่อเข้าสู่ห้องปฏิบัติการทางชีวกลศาสตร์ระยะทางยาว 40 เมตร



ภาพผนวกที่ ๓ คอมพิวเตอร์พร้อม โปรแกรมวิเคราะห์แรงปฏิกิริยาจากพื้น(APAS)



ภาพผนวกที่ ๔ แผ่นวัดแรงปฏิกิริยาจากพื้น AMTI รุ่น OR6-7-4000 Serial No.3813
ที่ฝังไว้ที่พื้นห้อง



ภาพผนวกที่ ๑5 ชุดจับเวลาด้วยแสงอินฟราเรด (Infrared Timer)

ภาคผนวก จ
ตารางบันทึกผลการเข้าร่วมโครงการวิจัย

ตารางบันทึกผลการเข้าร่วมโครงการวิจัย

วันที่	ชื่อ - นามสกุล	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	รองเท้า/ การวิ่ง	เวลาในการวิ่งครั้งที่				
						1	2	3	4	5
					BJ					
โทร.					WJ					
หมายเหตุ.					WF					
					BF					
วันที่	ชื่อ - นามสกุล	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	รองเท้า/ การวิ่ง	เวลาในการวิ่งครั้งที่				
						1	2	3	4	5
					BJ					
โทร.					WJ					
หมายเหตุ.					WF					
					BF					
วันที่	ชื่อ - นามสกุล	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	รองเท้า/ การวิ่ง	เวลาในการวิ่งครั้งที่				
						1	2	3	4	5
					BJ					
โทร.					WJ					
หมายเหตุ.					WF					
					BF					
วันที่	ชื่อ - นามสกุล	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	รองเท้า/ การวิ่ง	เวลาในการวิ่งครั้งที่				
						1	2	3	4	5
					BJ					
โทร.					WJ					
หมายเหตุ.					WF					
					BF					
วันที่	ชื่อ - นามสกุล	น้ำหนัก (กก.)	ส่วนสูง (ซม.)	อายุ (ปี)	รองเท้า/ การวิ่ง	เวลาในการวิ่งครั้งที่				
						1	2	3	4	5
					BJ					
โทร.					WJ					
หมายเหตุ.					WF					
					BF					

BJ;Airmax180(3.5-4 m/s)

BF;Airmax180(Max. Speed)

WJ;Airmax360(3.5-4 m/s)

WF;Airmax360(Max. Speed)

ภาคผนวก ข
การเก็บข้อมูล



1



2



3

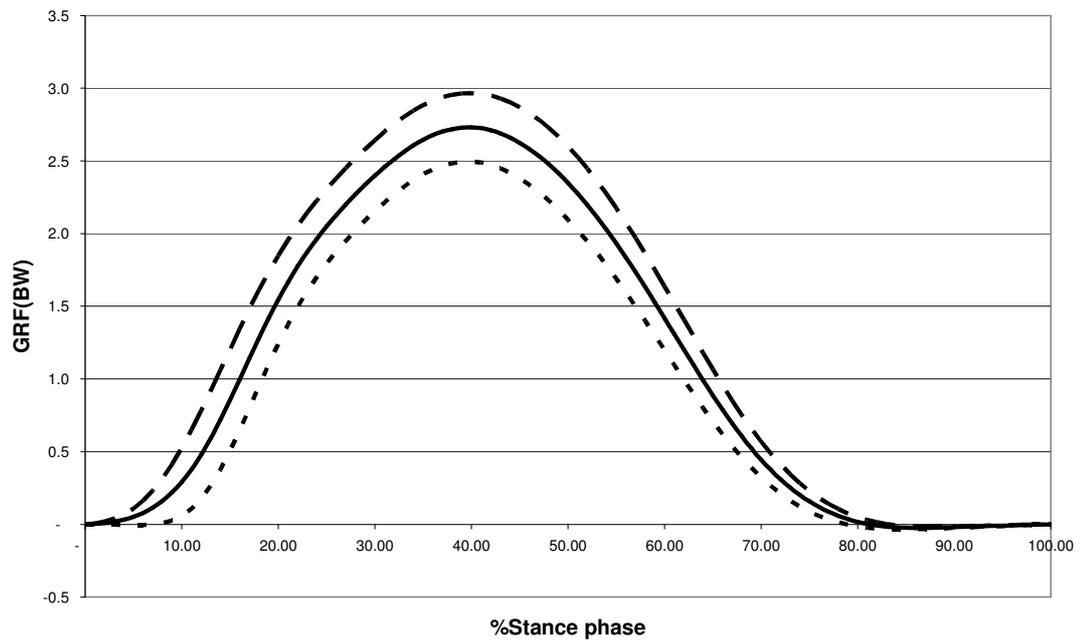


4

ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงการเก็บข้อมูล

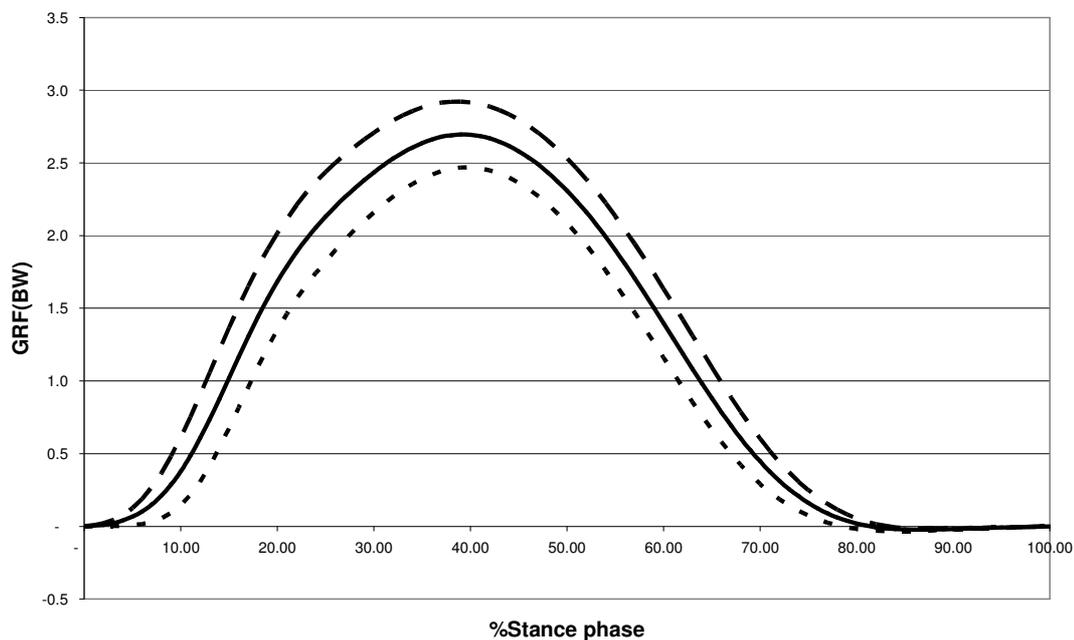
ภาคผนวก ข

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



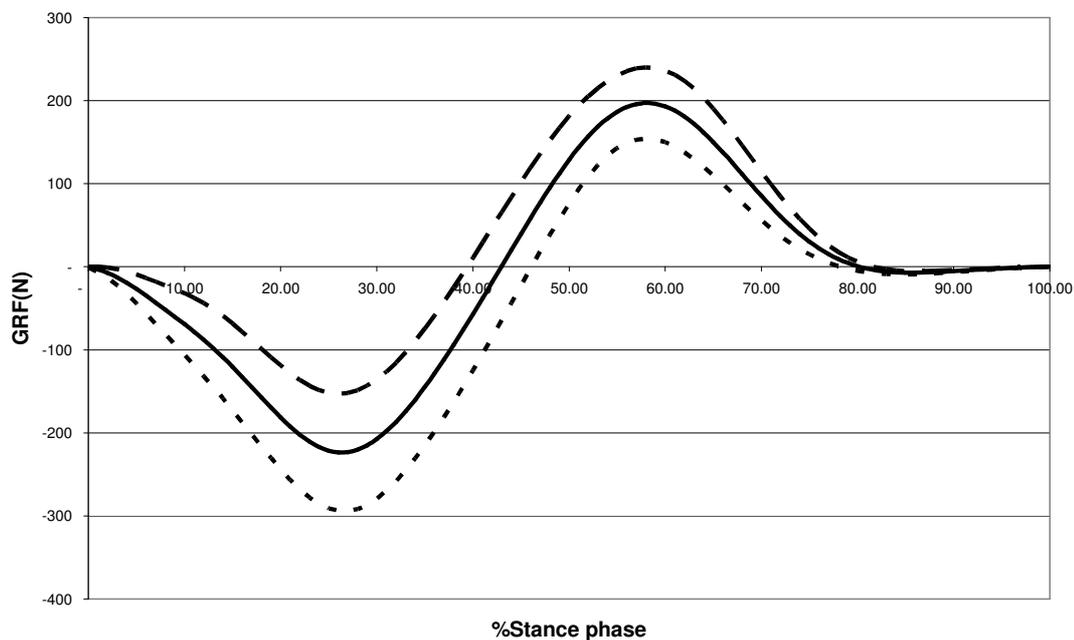
ภาพผนวกที่ ๗1 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งที่เกิดขึ้นเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้า ส่วนหน้าเป็นโฟมขณะวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ เส้น _____ แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น - - - - - แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



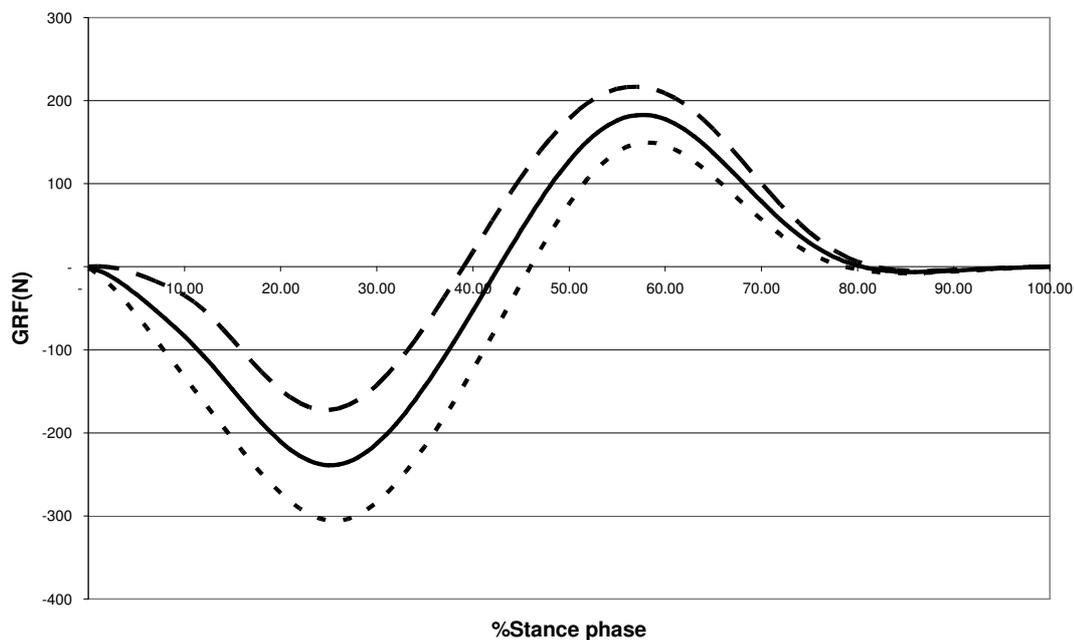
ภาพผนวกที่ ข2 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็น
ถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ เส้น _____ แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น - - - - - แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



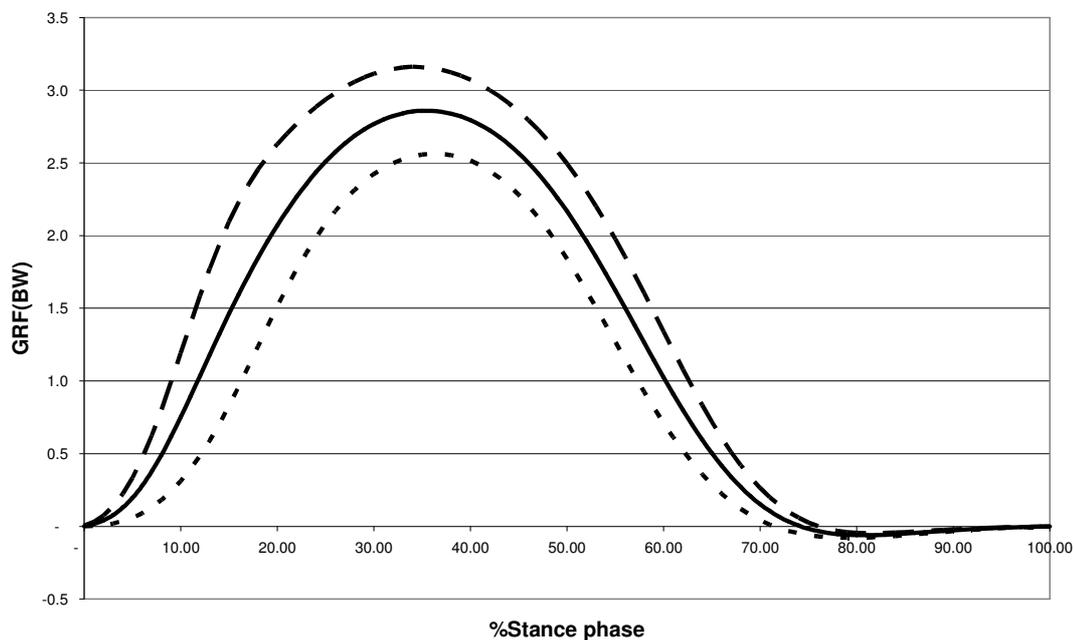
ภาพผนวกที่ ข3 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้า เป็นโฟมและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ เส้น  แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



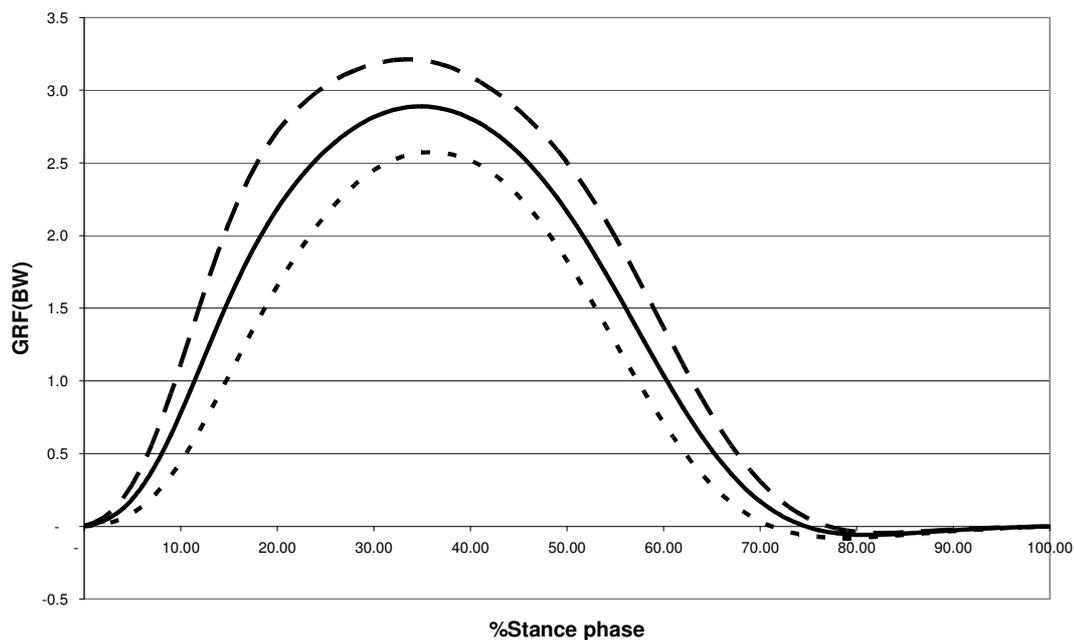
ภาพผนวกที่ ซ4 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้า เป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

หมายเหตุ	เส้น	—————	แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
	เส้น	- - - - -	แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
	เส้น	แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



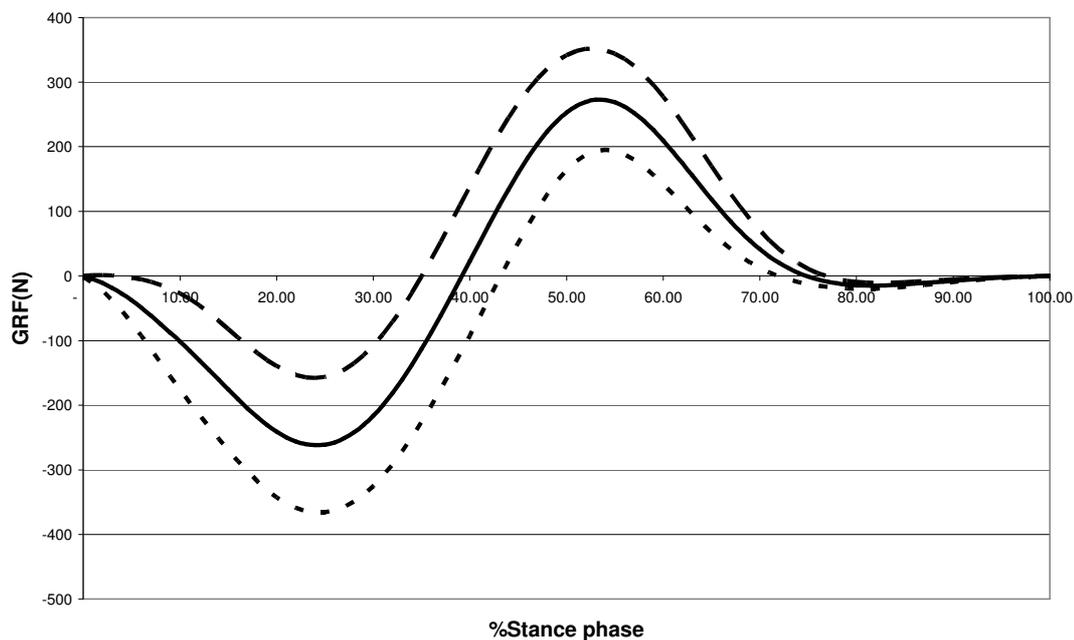
ภาพผนวกที่ ๗5 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็น โฟมและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้น  แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



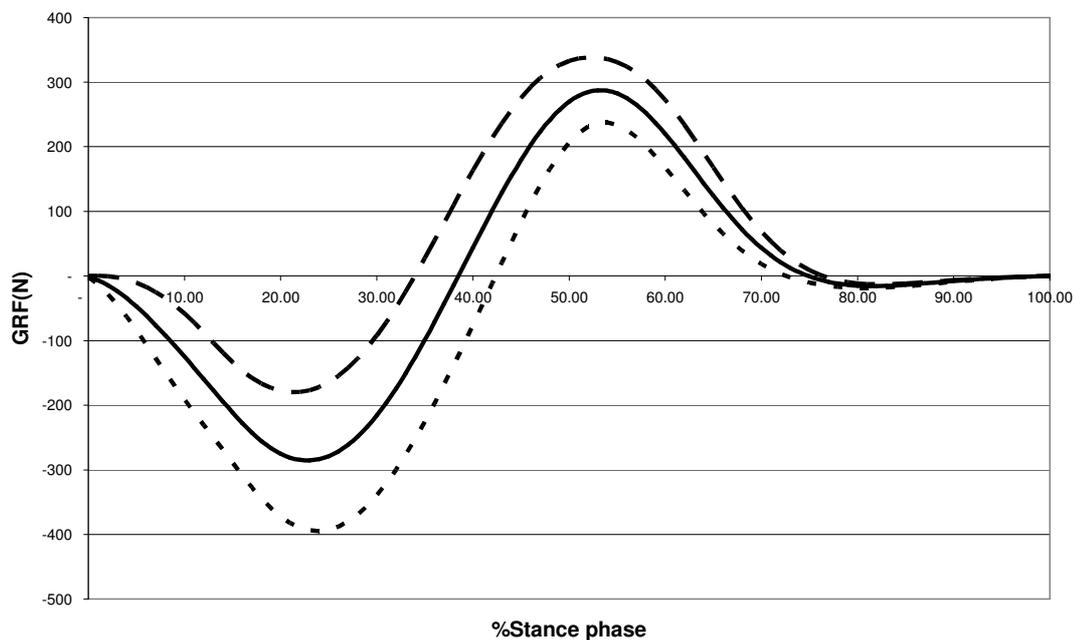
ภาพผนวกที่ ๖6 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้น ในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นรูอากาศและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้น  แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



ภาพผนวกที่ ๗ แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นโฟมและวัดความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้น _____ แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น - - - - - แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น



ภาพผนวกที่ ข8 แสดงแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนหน้า-หลังเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย

หมายเหตุ เส้น  แทนค่าเฉลี่ยของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย + ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
 เส้น  แทนค่าเฉลี่ย - ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของแรงปฏิกิริยาจากพื้น

ภาคผนวก ฅ
การวิเคราะห์ข้อมูล โดยใช้สถิติ

ตารางผนวกที่ ๓1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของความเร็วในการวิ่ง เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.011	1	.011	.012	.914
ภายในกลุ่ม	53.380	58	.920		
รวม	53.391	59			
<u>ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.037	1	.037	3.096	.084
ภายในกลุ่ม	.690	58	.012		
รวม	.727	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ตารางผนวกที่ ๓2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เท้าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะจับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.000	1	.000	1.999	1.63
ภายในกลุ่ม	.002	58	.000		
รวม	.002	59			
<u>ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.000	1	.000	.815	3.70
ภายในกลุ่ม	.005	58	.000		
รวม	.005	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ตารางผนวกที่ ๓3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เข้าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะหยุด เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.000	1	.000	.597	.443
ภายในกลุ่ม	.017	58	.000		
รวม	.017	59			
<u>ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.000	1	.000	.003	.959
ภายในกลุ่ม	.018	58	.000		
รวม	.018	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ตารางผนวกที่ ๓4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เข้าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะขับเคลื่อน เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>พื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.012	1	.012	199.347	.000*
ภายในกลุ่ม	.003	58	.000		
รวม	.015	59			
<u>พื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศ</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.012	1	.012	189.876	.000*
ภายในกลุ่ม	.004	58	.000		
รวม	.016	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ตารางผนวกที่ ๓5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของเวลาที่เข้าสัมผัสพื้น(แกนหน้า-หลัง)ในระยะหยุด เมื่อวิ่งด้วยความเร็วสูงสุด สำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>พื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบโฟม</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.019	1	.019	63.389	.000
ภายในกลุ่ม	.017	58	.000		
รวม	.036	59			
<u>พื้นรองเท้าส่วนหน้าแบบถุงอากาศ</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.023	1	.023	77.552	.000
ภายในกลุ่ม	.017	58	.000		
รวม	.040	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ตารางผนวกที่ ๓๖ แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดในแกนตั้งเมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม โดยวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
ความเร็ว	1.098	1	1.098	25.502	.000*
Error(ความเร็ว)	1.249	29	.043		
รองเท้า	.004	1	.004	.622	.437
Error(รองเท้า)	.201	29	.007		
ความเร็ว*รองเท้า	.016	1	.016	2.269	.143
Error(ความเร็ว*รองเท้า)	.209	29	.007		

* $P < .05$ ($F_{1,29} = 4.18$)

ตารางผนวกที่ ๗ แสดงค่า t เมื่อพบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งขณะวิ่งด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน โดยการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นในแกนตั้งด้วยวิธี Paired t-test

พื้นรองเท้าส่วนหน้า/ ความเร็ว Mean ± SD		ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	มีถุงอากาศ (Max.Speed)
		2.78 ± 0.23	2.95 ± 0.29	2.75 ± 0.22	2.96 ± 0.31
ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	2.78 ± 0.23	-	4.034*	1.968	-4.603*
ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	2.95 ± 0.29		-	4.772*	-.455
มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	2.75 ± 0.22			-	5.340*
มีถุงอากาศ (Max.Speed)	2.96 ± 0.31				-

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๘ แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระยะขับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนเป็นถุงอากาศ และเป็นโฟม ขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

แหล่งของความแปรปรวน		Value	F	Hypothesis df	Error df	P
ความเร็ว	Pillai's Trace	0.926	175.910	2	28	.000*
	Wilks' Lambda	0.074	175.910	2	28	.000*
	Hotelling's Trace	12.565	175.910	2	28	.000*
	Roy's Largest Root	12.565	175.910	2	28	.000*
รองเท้า	Pillai's Trace	0.451	11.486	2	28	.000*
	Wilks' Lambda	0.549	11.486	2	28	.000*
	Hotelling's Trace	0.82	11.486	2	28	.000*
	Roy's Largest Root	0.82	11.486	2	28	.000*
รองเท้า*ความเร็ว	Pillai's Trace	0.284	5.543	2	28	.009*
	Wilks' Lambda	0.716	5.543	2	28	.009*
	Hotelling's Trace	0.396	5.543	2	28	.009*
	Roy's Largest Root	0.396	5.543	2	28	.009*

* $P < .05$ ($F_{2,28} = 3.34$)

ตารางผนวกที่ ๓๑ แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด
ในแกนหน้า-หลัง ระยะจับเคลื่อน โดยใช้ Paired t-test

พื้นรองเท้าส่วนหน้า/ ความเร็ว Mean ± SD		ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	มีถุงอากาศ (Max.Speed)
		207.84 ± 43.01	309.36 ± 58.29	193.79 ± 34.43	309.33 ± 52.98
ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	207.84 ± 43.01	-	13.384*	3.493*	-15.801*
ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	309.36 ± 58.29		-	15.716*	.009
มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	193.79 ± 34.43			-	18.948*
มีถุงอากาศ (Max.Speed)	309.33 ± 52.98				-

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๑๐ แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง
ระยะขับเคลื่อนโดยใช้ Paired t-test

พื้นที่ร่องเท้าส่วนหน้า/ ความเร็ว		ไม่มีตุ้แกอากาศ	ไม่มีตุ้แกอากาศ	มีตุ้แกอากาศ	มีตุ้แกอากาศ
		(3.5-4 m/s)	(Max.Speed)	(3.5-4 m/s)	(Max.Speed)
Mean ± SD		13.30 ± 2.83	14.89 ± 2.75	12.72 ± 2.40	15.42 ± 2.83
ไม่มีตุ้แกอากาศ (3.5-4 m/s)	13.30 ± 2.83	-	4.051*	1.834	-5.131*
ไม่มีตุ้แกอากาศ (Max.Speed)	14.89 ± 2.75		-	5.815*	-3.139*
มีตุ้แกอากาศ (3.5-4 m/s)	12.72 ± 2.40			-	7.337*
มีตุ้แกอากาศ (Max.Speed)	15.42 ± 2.83				-

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๑ แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนหลายตัวแปรสองทางแบบวัดซ้ำ เพื่อทดสอบความแตกต่างของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุด และอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง ระยะหยุด เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศ และเป็นโฟม ขณะวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกายและความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที

แหล่งของความแปรปรวน		Value	F	Hypothesis df	Error df	P
ความเร็ว	Pillai's Trace	0.8548	82.4843	2	28	.000*
	Wilks' Lambda	0.1451	82.4843	2	28	.000*
	Hotelling's Trace	5.8917	82.4843	2	28	.000*
	Roy's Largest Root	5.8917	82.4843	2	28	.000*
รองเท้า	Pillai's Trace	0.2212	3.97848	2	28	.030*
	Wilks' Lambda	0.7787	3.97848	2	28	.030*
	Hotelling's Trace	0.2841	3.97848	2	28	.030*
	Roy's Largest Root	0.2841	3.97848	2	28	.030*
รองเท้า*ความเร็ว	Pillai's Trace	0.0326	0.47314	2	28	.630
	Wilks' Lambda	0.9673	0.47314	2	28	.630
	Hotelling's Trace	0.0337	0.47314	2	28	.630
	Roy's Largest Root	0.0337	0.47314	2	28	.630

* $P < .05$ ($F_{2,28} = 3.34$)

ตารางผนวกที่ ๑๒ แสดงการทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้น
สูงสุดในแกนหน้า-หลัง ระยะหยุด โดยใช้ Paired t-test

พื้นรองเท้าส่วนหน้า/ ความเร็ว Mean ± SD		ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	มีถุงอากาศ (Max.Speed)
		241.19 ± 65.28	305.19 ± 96.03	257.68 ± 66.09	310.41 ± 106.89
ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	241.19 ± 65.28	-	3.254*	-2.055*	-4.971*
ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	305.19 ± 96.03		-	3.281*	-4.466
มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	257.68 ± 66.09			-	3.254*
มีถุงอากาศ (Max.Speed)	310.41 ± 106.89				-

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๓ แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง
ระยะหยุด โดยใช้ Paired t-test

พื้นที่รองเท้าส่วนหน้า/ ความเร็ว		ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	มีถุงอากาศ (Max.Speed)
		Mean ± SD			
		16.99 ± 5.74	16.37 ± 6.38	18.60 ± 6.02	17.03 ± 7.16
ไม่มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	16.99 ± 5.74	-	-.727	-2.225*	-.045
ไม่มีถุงอากาศ (Max.Speed)	16.37 ± 6.38		-	-2.126*	-.915
มีถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	18.60 ± 6.02			-	-1.402
มีถุงอากาศ (Max.Speed)	17.03 ± 7.16				-

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๑๑๑ แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของแรงปฏิกิริยาจากพื้นสูงสุดใน
แกนหน้า-หลัง ระหว่างจับเคลื่อนกับระยะหยุดโดยใช้ Paired t-test

Peak A-P GRF/ ความเร็ว Mean ± SD			ระยะหยุด			
			โพลม		ถุงอากาศ	
			3.5-4 m/s	Max.Speed	3.5-4 m/s	Max.Speed
			241.19 ± 65.28	305.19 ± 96.03	257.68 ± 66.09	310.41 ± 106.89
ระยะ จับเคลื่อน	โพลม (3.5-4 m/s)	207.84 ± 43.01	-2.241*	-	-	-
	โพลม (Max.Speed)	309.36 ± 58.29	-	.192	-	-
	ถุงอากาศ (3.5-4 m/s)	193.79 ± 34.43	-	-	-5.179*	-
	ถุงอากาศ (Max.Speed)	309.33 ± 52.98	-	-	-	-.046

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๕ แสดงการทดสอบความแตกต่างค่าเฉลี่ยรายคู่ของอิมพัลส์ในแกนหน้า-หลัง
ระหว่างข้อเคลื่อนกับระยะหยุด โดยใช้ Paired t-test

A-P Impulse/ ความเร็ว Mean ± SD			ระยะหยุด			
			โพน		อุงอากาศ	
			3.5-4 m/s	Max.Speed	3.5-4 m/s	Max.Speed
			16.99 ± 5.74	16.37 ± 6.38	18.60 ± 6.02	17.03 ± 7.16
ระยะ ข้อเคลื่อน	โพน (3.5-4 m/s)	13.30 ± 2.83	2.878*	-	-	-
	โพน (Max.Speed)	14.89 ± 2.75	-	1.097	-	-
	อุงอากาศ (3.5-4 m/s)	12.72 ± 2.40	-	-	4.703*	-
	อุงอากาศ (Max.Speed)	15.42 ± 2.83	-	-	-	1.079

* $P < .05 (t_{29, (0.025)} = 2.045)$

ตารางผนวกที่ ๑๖ แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว เพื่อทดสอบความแตกต่างของผลต่างระหว่างอิมพัลส์ระยะหยุคกับระยะขับเคลื่อน เมื่อสวมรองเท้าที่พื้นรองเท้าส่วนหน้าเป็นถุงอากาศและเป็นโฟม

แหล่งของความแปรปรวน	SS	df	MS	F	P
<u>ความเร็วสูงสุดสำหรับการออกกำลังกาย</u>					
ระหว่างกลุ่ม	.231	1	.231	.004	.951
ภายในกลุ่ม	3506.146	58	60.451		
รวม	3506.337	59			
<u>ความเร็ว 3.5-4 เมตร/วินาที</u>					
ระหว่างกลุ่ม	72.302	1	72.302	1.506	.225
ภายในกลุ่ม	2784.446	58	48.008		
รวม	2856.747	59			

* $P < .05$ ($F_{1,58} = 4.08$)

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นายภาณุพล รัตนปนัดดา
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 21 มกราคม 2526
สถานที่เกิด	จังหวัดสุพรรณบุรี
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา จากมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนคูสิต
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-