



การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิส  
ระดับเยาวชน

THE PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL RESPONSES IN TENNIS COMPETITION  
ON A CLAY COURT OF YOUTH TENNIS PLAYERS

ธีรพันธ์ สังข์แก้ว

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

2567

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิส  
ระดับเยาวชน



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย  
คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
ปีการศึกษา 2567  
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

THE PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL RESPONSES IN TENNIS COMPETITION  
ON A CLAY COURT OF YOUTH TENNIS PLAYERS



A Dissertation Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY  
(Sport and Exercise Science)

Faculty of Physical Education, Srinakharinwirot University

2024

Copyright of Srinakharinwirot University

ปริญญานิพนธ์

เรื่อง

การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิส

ระดับเยาวชน

ของ

ธีรพันธ์ สังข์แก้ว

ได้รับอนุมัติจากบัณฑิตวิทยาลัยให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย  
ของมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

(รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ฉัตรชัย เอกปัญญาสกุล)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

คณะกรรมการสอบปากเปล่าปริญญานิพนธ์

..... ที่ปรึกษาหลัก ..... ประธาน  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สี่ละมอด) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ ชินสีห์)

..... ที่ปรึกษาร่วม ..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี) (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ปัทม)

..... กรรมการ  
(อาจารย์ ดร.นุชรี เสนาคำ)

|                      |                                                                                            |
|----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| ชื่อเรื่อง           | การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน |
| ผู้วิจัย             | ธีรพันธ์ สังข์แก้ว                                                                         |
| ปริญญา               | ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต                                                                          |
| ปีการศึกษา           | 2567                                                                                       |
| อาจารย์ที่ปรึกษา     | รองศาสตราจารย์ ดร. สนธยา สีละมาด                                                           |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | อาจารย์ ดร. เกริกวิทย์ พงศ์ศรี                                                             |

กีฬาเทนนิสในประเทศไทยได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง เพื่อเตรียมความพร้อมไปสู่รายการแข่งขันเทนนิสอาชีพในระดับที่สูงขึ้น นักกีฬาเทนนิสที่ประสบความสำเร็จในการแข่งขันระดับอาชีพควรมีพื้นฐานการฝึกซ้อมและการแข่งขันบนสนามแบบพื้นดินในระดับเยาวชนมาเป็นอย่างดี การศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน ซึ่งประกอบด้วยการศึกษาที่ 1 มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น ความเร็วของบอล และความแม่นยำของบอลในนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนเพศชาย จำนวน 16 คน กลุ่มตัวอย่างทำการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ ดังนี้ Running Forehand Down the Line (RFDL), Running Forehand Cross-Court (RFCC), Running Backhand Down the Line (RBDL), Running Backhand Cross-Court (RBCC) จากเครื่องปล่อยบอลอัตโนมัติด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient) และเปรียบเทียบความเร็วของบอลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated Measure) เปรียบเทียบความแม่นยำของบอลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA with Repeated Measure) กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์เชิงบวกของทักษะ RFDL และ RFCC มีความสัมพันธ์ปานกลาง ( $r = .697$ ) ความเร็วของบอลทักษะ RFDL มีความเร็วมากที่สุด และทักษะ RFCC มีความแม่นยำมากที่สุด การศึกษาที่ 2 มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ขณะแข่งขันบนสนามแบบพื้นดิน จำลองการแข่งขันประเภทชายเดี่ยว จำนวน 8 คู่ บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการแข่งขัน เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงานและพื้นที่ในการเล่นเกมรุก-เกมรับระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (Independent Samples t-test) หากพบความแตกต่างรายคู่จะทดสอบด้วยวิธีของ LSD กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ผลการศึกษาพบว่า การเผาผลาญพลังงานของนักกีฬาทั้งสองกลุ่มที่แพ้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและเกมรับไม่พบความแตกต่างกัน สรุป ผู้ฝึกสอนและนักกีฬาสามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้กับการวางแผนการฝึกซ้อมและกำหนดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนพื้นดิน เพื่อเป็นแนวทางในการยกระดับศักยภาพของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ : กีฬาเทนนิส, การวิเคราะห์การแข่งขัน, การวิ่งตีบอลกระดอนพื้น, พื้นสนาม, การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์

|                |                                                                                                                |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Title          | THE PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL RESPONSES IN TENNIS<br>COMPETITION ON A CLAY COURT OF YOUTH TENNIS PLAYERS |
| Author         | TEERAPHAN SANGKAEW                                                                                             |
| Degree         | DOCTOR OF PHILOSOPHY                                                                                           |
| Academic Year  | 2024                                                                                                           |
| Thesis Advisor | Associate Professor Dr. Sonthaya Sriramatr                                                                     |
| Co Advisor     | Lecturer Dr. Krirkwit Phongsri                                                                                 |

Tennis in Thailand has been consistently promoted and developed to prepare athletes for higher levels of professional competition. Youth tennis players who succeed at the professional level should have a strong foundation in training and competition on clay courts. This study examined the physiological and biomechanical responses of youth tennis players during competitions on clay courts. Study 1, The objective was to determine the relationship between running groundstroke skills, ball velocity, and ball accuracy in youth tennis players. Sixteen male national-level junior tennis players were assessed. Four running and hitting a ball Running Forehand Down the Line (RFDL), Running Forehand Cross-Court (RFCC), Running Backhand Down the Line (RBDL), Running Backhand Cross-Court (RBCC) from an automatic ball at a speed of 60 kilometers per hour Statistical Analysis: Pearson Correlation Coefficient for relationship analysis, One-Way ANOVA with Repeated Measures for comparing ball velocity, and Two-Way ANOVA with Repeated Measures for assessing ball accuracy, with statistical significance set at the 0.05 level. The results indicated a moderate positive correlation between RFCC and RFDL running groundstroke skills ( $r = .697$ ). RFDL demonstrated the highest ball velocity, while RFCC exhibited the highest accuracy, both showing statistical significance at 0.05 level. Study 2, The objective was to compare physiological responses and tennis zone areas between the winning and losing groups during simulated matches played on clay courts. Simulate a men's singles competition with 8 pairs, recording video and heart rates throughout the competition. Compare maximum heart rates, average heart rate, energy and offensive and defensive zone. An independent samples t-test was utilized to compare means between groups using the LSD method when differences were found, with statistical significance at 0.05 level. The results revealed significant differences in energy expenditure between the winning and losing groups ( $p < 0.05$ ), while no significant differences were observed in maximum heart rate, average heart rate, or offensive and defensive zone areas. Conclusion, Coaches and athletes can use these research findings to plan training sessions and develop specific physical fitness programs for clay court tennis players. This research offers a pathway for enhancing the potential of Thai youth tennis players in the future.

Keyword : Tennis racket sport, Game analysis, Running groundstrokes, Court surfaces, The physiological and biomechanical responses

## กิตติกรรมประกาศ

"กล้วยไม้มีดอกข้าฉันใด การศึกษาเป็นไปเช่นนั้น แต่ออกดอกคราวไรงามเด่น การศึกษาปลูกปั้นเสร็จแล้วแสนงาม" หม่อมหลวง ปิ่น มาลากุล ผู้ประพันธ์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีเพราะได้รับความเมตตาจาก รศ. ศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมัต อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์หลัก อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาแนะนำและช่วยปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง และตรวจสอบความถูกต้องในการทำปริญญานิพนธ์จนมีความสมบูรณ์ รวมทั้งคณาจารย์และเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ทุกท่านที่ให้คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ ชินสีห์ ที่ได้ให้เกียรติสละเวลาอันมีค่ามาเป็นประธานในการสอบปริญญานิพนธ์ของข้าพเจ้า ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประสิทธิ์ ปิปทุม และท่านอาจารย์ ดร.นุชรี เสนาคำ ภาควิชาวิทยาศาสตร์การกีฬา คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบปริญญานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณสมาคมกีฬาเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันสอนเทนนิส Troop Tennis Academy สถาบันสอนเทนนิส Smash It Tennis Academy ที่ให้ความอนุเคราะห์นักกีฬาในความดูแลของท่านเข้าร่วมวิจัย สถาบันเทนนิสปิรามิด ที่ให้ความอนุเคราะห์อำนวยความสะดวกของสถานที่ในการเก็บข้อมูลการวิจัย รวมทั้งผู้ฝึกสอน เทรนเนอร์ ผู้ช่วยวิจัย และนักกีฬาเทนนิสทุกท่านที่เสียสละเวลาในการเข้าร่วมการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่ออุดม-คุณแม่ณอม สังข์แก้ว คุณพ่อสมมาตร-คุณแม่อัษฎนา นาคพันธุ์ คุณยอดหญิง สังข์แก้ว ด.ญ.ธัญญธิชา สังข์แก้ว และด.ญ.ณัฏฐธิชา สังข์แก้ว ครอบครัวที่เปรียบเสมือนพลังผลักดันให้กำลังใจและให้การสนับสนุนแก่ข้าพเจ้าในทุกมิติ ขอขอบคุณเพื่อนร่วมรุ่นปริญญานิพนธ์ทุกท่านที่ให้กำลังใจและคำแนะนำเป็นอย่างดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาจารย์ ดร.วศัญญา คำรส อาจารย์ ดร.กิริติ อินทวิชรัตน์ ที่ให้คำปรึกษามาโดยตลอด เหนือสิ่งอื่นใดองค์ความรู้และประโยชน์จากการศึกษาในครั้งนี้ข้าพเจ้าขอบแต่บูรพาจารย์ทุกท่านที่ได้อบรมสั่งสอนและให้ความรู้แก่ข้าพเจ้าทุกระดับการศึกษามา ณ โอกาสนี้

ธีรพันธ์ สังข์แก้ว

## สารบัญ

|                                                                               | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....                                                         | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....                                                      | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ.....                                                          | ฉ    |
| สารบัญ .....                                                                  | ช    |
| สารบัญตาราง.....                                                              | ญ    |
| สารบัญรูปภาพ .....                                                            | ฎ    |
| บทที่ 1 บทนำ.....                                                             | 1    |
| ภูมิหลัง .....                                                                | 1    |
| ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....                                                  | 4    |
| คำถามของการวิจัย.....                                                         | 4    |
| สมมติฐานของการวิจัย.....                                                      | 5    |
| ความสำคัญของการวิจัย .....                                                    | 5    |
| ขอบเขตของการวิจัย .....                                                       | 5    |
| ประชากรในงานวิจัย.....                                                        | 5    |
| กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย.....                                                  | 5    |
| ตัวแปรที่ศึกษา.....                                                           | 6    |
| นิยามศัพท์เฉพาะ.....                                                          | 6    |
| กรอบแนวคิดในการวิจัย .....                                                    | 7    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....                                   | 9    |
| 1. ความต้องการและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิส .....                      | 9    |
| 1.1 ความต้องการทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิส (Physiological Demands in Tennis)..... | 9    |

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1.2 การตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาในกีฬาเทนนิส (Physiological Responses in Tennis)..... | 10 |
| 2. การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในกีฬาเทนนิส .....                                     | 12 |
| 2.1 ระนาบของร่างกาย (Plane) .....                                                   | 12 |
| 2.2 แกนการเคลื่อนไหว (Axis) .....                                                   | 13 |
| 2.3 ประเภทการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Form of Motion) .....                              | 13 |
| 3. พื้นผิวสนามเทนนิสประเภทต่าง ๆ.....                                               | 23 |
| 3.1 สนามพื้นแข็ง (Hard Court).....                                                  | 24 |
| 3.2 สนามพื้นดิน (Clay Court).....                                                   | 26 |
| 3.3 สนามพื้นหญ้า (Grass Court) .....                                                | 28 |
| 3.4 สนามพื้นพรม (Carpet Court).....                                                 | 29 |
| งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....                                                         | 31 |
| บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....                                                  | 37 |
| การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง .....                                               | 37 |
| ประชากรที่ใช้ในการวิจัย.....                                                        | 37 |
| กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....                                                  | 37 |
| 1. เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย .....                                   | 37 |
| 2. เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย.....                                      | 37 |
| เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย .....                                                    | 38 |
| วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล .....                                                       | 38 |
| การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย .....                                    | 43 |
| จริยธรรมการทำวิจัยในมนุษย์.....                                                     | 43 |
| บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....                                                  | 44 |

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง .....                                  | 44 |
| ผลการศึกษาที่ 1 .....                                                | 45 |
| ผลการศึกษาที่ 2 .....                                                | 48 |
| บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ .....                         | 53 |
| อภิปรายผลการศึกษาที่ 1 .....                                         | 53 |
| อภิปรายผลการศึกษาที่ 2 .....                                         | 56 |
| สรุปผลการวิจัย .....                                                 | 60 |
| ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต .....                                | 60 |
| ข้อจำกัดของงานวิจัย .....                                            | 61 |
| บรรณานุกรม .....                                                     | 62 |
| ภาคผนวก .....                                                        | 69 |
| ภาคผนวก ก ใบรับรองการขอจริยธรรมการวิจัยที่ทำในมนุษย์ .....           | 70 |
| ภาคผนวก ข เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย .....                      | 72 |
| ภาคผนวก ค หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย .....           | 78 |
| ภาคผนวก ง เอกสารขอความอนุเคราะห์นักกีฬาเข้าร่วมการวิจัย .....        | 81 |
| ภาคผนวก จ เอกสารขอความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูลการวิจัย ..... | 86 |
| ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล .....                      | 88 |
| ภาคผนวก ช ภาพประกอบการดำเนินการทดลอง .....                           | 92 |
| ประวัติผู้เขียน .....                                                | 96 |

## สารบัญตาราง

### หน้า

|                                                                                                                                                                                                                                             |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ตาราง 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง.....                                                                                                                                                            | 44 |
| ตาราง 2 แสดงความสัมพันธ์ของทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้น ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient) .....                                                                                                             | 45 |
| ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วบอลทั้ง 4 ทักษะ .....                                                                                                                                                                | 46 |
| ตาราง 4 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของบอลระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นแต่ละแบบ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated Measure).....                                                            | 46 |
| ตาราง 5 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้น ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA with Repeated Measure) ...                                                                           | 47 |
| ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาฟุตบอลลที่ชนะและนักกีฬาฟุตบอลลที่แพ้ เซตที่ 1 ..... | 49 |
| ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาฟุตบอลล ที่ชนะและนักกีฬาฟุตบอลลที่แพ้ เซตที่ 1 .....                     | 50 |
| ตาราง 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาฟุตบอลลที่ชนะและนักกีฬาฟุตบอลลที่แพ้ เซตที่ 2.....  | 51 |
| ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาฟุตบอลล ที่ชนะและนักกีฬาฟุตบอลลที่แพ้ เซตที่ 2 .....                     | 52 |

## สารบัญรูปภาพ

|                                                                                                                                  | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการศึกษาที่ 1 .....                                                                                        | 7    |
| ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการศึกษาที่ 2 .....                                                                                        | 8    |
| ภาพประกอบ 3 พื้นผิวสนามเทนนิส (Tennis Court Surface) .....                                                                       | 24   |
| ภาพประกอบ 4 สนามเทนนิสพื้นแข็ง (Hard Court) Australian Open .....                                                                | 25   |
| ภาพประกอบ 5 สนามเทนนิสพื้นแข็ง US Open .....                                                                                     | 26   |
| ภาพประกอบ 6 สนามเทนนิสพื้นดิน (Clay Court) .....                                                                                 | 27   |
| ภาพประกอบ 7 สนามเทนนิสพื้นหญ้า (Grass Court) .....                                                                               | 29   |
| ภาพประกอบ 8 สนามเทนนิสพื้นพรม (Carpet Court) .....                                                                               | 30   |
| ภาพประกอบ 9 แบบทดสอบความแม่นยำจากการตีบอลกระดอนพื้น .....                                                                        | 40   |
| ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง .....                                                                                   | 41   |
| ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ .....                                                               | 42   |
| ภาพประกอบ 12 การติดตั้งกล้องเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ในการเล่น .....                                                                 | 42   |
| ภาพประกอบ 13 ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามระหว่าง Running Forehand Down the Line (RFDL) กับ Running Forehand Cross-Court (RFCC) ..... | 45   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### ภูมิหลัง

กีฬาอาชีพเป็นอาชีพใหม่สำหรับคนไทย แต่หลาย ๆ ประเทศที่เป็นมหาอำนาจทางการกีฬาจัดความสำคัญของอาชีพนักกีฬาอยู่ในอันดับต้น ๆ ของประเทศ สร้างรายได้หลักให้แก่ นักกีฬา บุคลากรทางการกีฬาและผู้ที่เกี่ยวข้อง อีกทั้งนักกีฬาอาชีพยังเป็นปัจจัยส่งเสริมอุตสาหกรรมการท่องเที่ยวและสร้างชื่อเสียงของประเทศให้เป็นที่ประจักษ์ การพัฒนานักกีฬาให้ประสบความสำเร็จเป็นนักกีฬาอาชีพถือเป็นเรื่องค่อนข้างยาก แต่หากนักกีฬาประสบความสำเร็จได้จะเป็นความภาคภูมิใจอย่างยิ่งทั้งนักกีฬา ผู้ฝึกสอน ผู้ปกครองและผู้ที่เกี่ยวข้อง สำหรับวงการกีฬาของประเทศไทยด้วยนโยบายของการกีฬาแห่งประเทศไทยที่มุ่งเน้นและพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อต้องการสร้างนักกีฬาอาชีพให้มีจำนวนมากขึ้น มีการกำหนดแผนยุทธศาสตร์การกีฬาแห่งประเทศไทยปี 2564-2570 โดยวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการกีฬาเป็นกลุ่มผู้นำทางการกีฬาระดับเอเชีย และสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศ โดยมุ่งเน้นการพัฒนากีฬาเพื่อความเป็นเลิศของชาติและต่อยอดไปสู่การเป็นนักกีฬาอาชีพเพื่อสร้างรายได้ให้กับตนเองและสร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศชาติ (การกีฬาแห่งประเทศไทย., 2564)

ในปัจจุบันสถานการณ์ด้านกีฬาอาชีพของประเทศไทยพบว่ากีฬาเทนนิสอาชีพได้รับการส่งเสริมและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการจัดการแข่งขันภายในประเทศหลายรายการให้นักกีฬาเทนนิสรุ่นใหม่ได้มีเวทีในการเข้าร่วมการแข่งขัน เพื่อเตรียมความพร้อมไปสู่รายการแข่งขันเทนนิสอาชีพในระดับที่สูงขึ้น ความใฝ่ฝันของนักกีฬาเทนนิสหลาย ๆ คนตั้งเป้าหมายสูงสุดของการเล่นเทนนิสเพื่อต้องการเป็นตัวแทนระดับประเทศเข้าร่วมการแข่งขันกีฬาโอลิมปิก หรือสร้างชื่อในการแข่งขันเทนนิสรายการแกรนด์สแลม (Grand Slam) ซึ่งเป็นชื่อเรียกการแข่งขันเทนนิสที่ยิ่งใหญ่ที่สุด 4 รายการของโลก นักกีฬาเทนนิสส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับรายการนี้มากเนื่องจากมีคะแนนสะสมและเงินรางวัลในการแข่งขันที่สูงมาก การแข่งขันรายการแกรนด์สแลมจะประกอบไปด้วย 4 รายการ คือ 1) รายการออสเตรเลีย โอเพ่น (Australian Open) แข่งขันในเดือนมกราคมของทุกปีที่ประเทศออสเตรเลีย บนฮาร์ดคอร์ต 2) รายการเฟรนช์ โอเพ่น (French Open) แข่งขันในเดือนพฤษภาคม - มิถุนายนของทุกปีที่ประเทศฝรั่งเศส บนคอร์ตดิน 3) รายการวิมเบิลดัน (Wimbledon) แข่งขันในเดือนมิถุนายน - กรกฎาคมของทุกปีที่ประเทศอังกฤษบนคอร์ตหญ้า และ 4) รายการยูเอส โอเพ่น (US. Open) แข่งขันในเดือนสิงหาคม - กันยายนของทุกปีที่ประเทศสหรัฐอเมริกา บนฮาร์ดคอร์ต (ITF, 2021)

การนำองค์ความรู้ทางด้านเทคโนโลยีทางการกีฬามาวิเคราะห์การแข่งขัน วิเคราะห์ปริมาณการเคลื่อนที่บนพื้นสนามแต่ละประเภทโดยผู้เชี่ยวชาญ เพื่อประโยชน์ต่อการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาให้เหมาะสมมากที่สุด (Cui et al., 2017) ข้อมูลดังกล่าวทำให้ทราบว่าตลอดการแข่งขันนักกีฬาเทนนิสต้องเปลี่ยนทิศทางตลอดเวลา มีการเพิ่มอัตราเร่ง (Acceleration) และลดความเร็ว (Deceleration) ในขณะเคลื่อนที่ ระยะทางในการวิ่งเพื่อตีบอล 1 ครั้ง เท่ากับ 3 เมตร และใช้ระยะทางเฉลี่ยรวม 8-15 เมตร ต่อการได้แต้ม 1 แต้ม หากคิดเป็นระยะทางรวมตลอดการแข่งขันเท่ากับ 1,300 -3,600 เมตร ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับฝีมือของนักกีฬา (ระดับมืออาชีพหรือมือสมัครเล่น) และพื้นสนามที่ใช้แข่งขัน (พื้นสนามแบบช้าหรือพื้นสนามแบบเร็ว) (Fernandez-Fernandez et al., 2011) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Cui et al. (2017) ที่วิเคราะห์เกมการแข่งขันเทนนิสแกรนด์สแลมทั้ง 4 รายการในช่วงปี ค.ศ. 2015 - 2017 พบว่าระยะทางในการเคลื่อนที่บนสนามพื้นดิน เท่ากับ 11.8 เมตรต่อการได้แต้ม 1 แต้ม และระยะทางรวม 683.1 เมตรต่อเซต เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fernandez-Fernandez et al. (2010) พบว่านักกีฬาเทนนิสต้องฝึกความเร็วที่เฉพาะเจาะจง มีการวิ่งเพื่อเข้าไปตีลูกด้วยความเร็วสูงในหลากหลายทิศทางซ้ำ ๆ หลาย ๆ เที้ยว รูปแบบการฝึกที่นิยมใช้ในนักกีฬาเทนนิสคือการฝึกแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักระดับสูง (High-Interval Training) และการฝึกความเร็วสูงสุดแบบซ้ำเที้ยว (Repeated-Sprint Training) ลักษณะการฝึกทั้งสองรูปแบบนี้นักกีฬาเทนนิสจะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วหรือความสามารถสูงสุดหลาย ๆ เที้ยว สลับกับการมีช่วงเวลาของการพักเพื่อฟื้นตัวในระยะเวลาสั้น ๆ ดังนั้นการฝึกแบบหนักสลับช่วงที่ความหนักระดับสูงและการฝึกความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ๆ สามารถพัฒนาสมรรถภาพทางกายที่เกี่ยวข้องกับการใช้พลังงานในระบบแอนแอโรบิกและระบบแอโรบิกได้ (Fernandez-Fernandez et al., 2012)

การตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักกีฬาเทนนิสที่ผ่านมาพอจะสรุปได้ว่ามีการศึกษาถึงอัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขัน ระดับความเข้มข้นของกรดแลคติก สัดส่วนการทำงานต่อการพัก อัตราส่วนของการใช้พลังงานแบบแอโรบิกและแอนแอโรบิก ส่วนการศึกษาทางด้านชีวกลศาสตร์ในกีฬาเทนนิสจะเกี่ยวข้องกับจำนวนครั้งที่นักกีฬาแสดงทักษะ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ใน

แต่ละกิจกรรม ปริมาณในการเคลื่อนที่ต่อแต้มและระยะทางรวมตลอดการแข่งขัน อีกทั้งการแข่งขันเทนนิสยังแบ่งเป็นประเภททีม ประเภทเดี่ยว ประเภทคู่ และประเภทคู่ผสมบนพื้นผิวสนามที่แตกต่างกันทั้งสนามในร่มและกลางแจ้ง ข้อมูลเหล่านี้จึงมีความสำคัญในการนำไปสร้างรูปแบบการฝึกซ้อมให้มีความเฉพาะเจาะจงกับกีฬาเทนนิสที่มีความแตกต่างกันตามระดับการแข่งขัน ระดับอายุ และเพศ (Reilly et al., 2009) ยังพบข้อมูลว่าในนักกีฬาเทนนิสระดับอาชีพ

(Professional Players) สามารถตีบอลได้อย่างรุนแรงและมีความแม่นยำไปยังตำแหน่งที่ต้องการในสนามของฝ่ายตรงข้ามได้เพื่อทำคะแนนในแต่ละแต้ม (Elliott et al., 2009) เช่นเดียวกับการศึกษาของ Landlinger et al. (2012) ที่ศึกษาความแตกต่างของความเร็วและความแม่นยำในทักษะการตีบอลกระดอนพื้นทางด้านหน้ามือและหลังมือระหว่างนักกีฬาเทนนิสอาชีพ (เพศชาย จำนวน 6 คน) และนักกีฬาเทนนิสที่มีความสามารถสูง (เพศชาย จำนวน 7 คน) พบว่า ความเร็วของลูกเทนนิสเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้นักกีฬาเทนนิสระดับอาชีพและนักกีฬาเทนนิสที่มีความสามารถสูงสามารถตีบอลกระดอนพื้นด้านหน้ามือได้เร็วกว่าการตีบอลกระดอนพื้นด้านหลังมือ และทำได้ดีในทิศทางแนวทแยง (Cross Court)

องค์ประกอบที่ผลักดันให้นักกีฬาเทนนิสประสบความสำเร็จในการแข่งขันบนสนามพื้นดินขึ้นอยู่กับหลายองค์ประกอบ โดยความสามารถของนักกีฬาเป็นเหตุผลหลัก ส่วนเหตุผลรองที่สนับสนุนให้นักกีฬาประสบความสำเร็จได้คือการนำเทคโนโลยีที่ทันสมัยมาช่วยวิเคราะห์ทั้งทางด้านสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fitzpatrick et al. (2019) ชี้ให้เห็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญสำหรับความสามารถของนักกีฬาที่แข่งขันบนสนามพื้นดินและสนามพื้นหญ้า พบว่าการจะได้แต้มแต่ละแต้มของนักกีฬากลุ่มที่ชนะบนสนามพื้นดินต้องใช้การตีโต้ (Rally) ที่นานและจำนวนครั้งเยอะกว่าสนามพื้นหญ้า ลักษณะเกมการเล่นของสนามพื้นดินจะเน้นทำยาคอร์ต (Baseline) เป็นส่วนใหญ่ การแข่งขันเทนนิสสนามพื้นดิน (Clay Court) ย่อมใช้ระยะเวลาและระยะทางที่เยอะกว่าสนามพื้นแข็ง (Hard Court) ซึ่งการศึกษาของ Fernandez et al. (2006) พบว่าเมื่อเทียบระดับความหนักของการแข่งขันเทนนิสเป็นส่วนส่วนการทำงานกับการพัก (Work :Rest) จะเท่ากับ 1:1 ถึง 1:4 เช่นเดียวกับการศึกษาของ Kovacs (2006) ที่พบว่าสัดส่วนระหว่างการทำงานต่อการพักเท่ากับ 1:2 และ 1:5 นักกีฬาจึงต้องการพลังงานงานในการเคลื่อนที่เพื่อการเข้าตีบอลทั้งในรูปแบบการสร้างเกมรุกและรับ อีกทั้งการศึกษาของ Fernandez-Fernandez et al. (2011) ได้ศึกษาความต้องการของนักกีฬาเทนนิสในเกมการแข่งขัน พบว่าเวลารวมตลอดการแข่งขันอยู่ระหว่าง 1.30 – 5 ชั่วโมง ความหนักของกิจกรรมอยู่ในระดับสูงตลอดการแข่งขัน จึงจัดเป็นการออกกำลังกายแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent Exercise) สหพันธ์เทนนิสนานาชาติ (International Tennis Federation: ITF) ได้ทำการวิเคราะห์ระบบพลังงานในการแข่งขันเทนนิสพบว่า นักกีฬาเทนนิสใช้พลังงานทั้ง 3 ระบบ โดยมีสัดส่วนดังนี้ ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนที่ไม่เกิดกรดแลคติก 70 เปอร์เซ็นต์ ใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจนเกิดกรดแลคติก 20 เปอร์เซ็นต์ และใช้ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน 10 เปอร์เซ็นต์ (ITF, 2021)

จากการสังเคราะห์งานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งทำให้นักกีฬาเทนนิสประสบความสำเร็จในการแข่งขันบนสนามแบบพื้นดิน รวมทั้งการเป็นนักกีฬาเทนนิสอาชีพควรมีพื้นฐานการฝึกซ้อมและการแข่งขันบนสนามแบบพื้นดินในระดับเยาวชนมาเป็นอย่างดีเพื่อเป็นพื้นฐานในด้านต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้วข้างต้น สำหรับประเทศไทยยังมีข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างที่ไม่สามารถสร้างนักกีฬาเทนนิสระดับอาชีพและถนัดในการแข่งขันบนพื้นสนามแบบพื้นดิน ผู้วิจัยมองว่าควรมีงานวิจัยภายในประเทศที่เกี่ยวข้องเพื่อผลักดันและสนับสนุนให้หน่วยงานที่กำลังดูแลนักกีฬาเทนนิสเห็นถึงความสำคัญในการฝึกซ้อมและการแข่งขันของนักกีฬาเทนนิสบนสนามพื้นดิน ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน เพื่อเป็นข้อมูลสำคัญสำหรับสมาคมกีฬาเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (The Lawn Tennis Association of Thailand Under His Majesty's Patronage) ผู้ฝึกสอน นักกีฬาและผู้ที่เกี่ยวข้อง สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้กับการวางแผนการฝึกซ้อมและกำหนดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนพื้นดิน อันจะเป็นแนวทางหนึ่งในการยกระดับศักยภาพของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนของประเทศไทยในอนาคตต่อไป

## ความมุ่งหมายของงานวิจัย

### การศึกษาที่ 1

1. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นกับความเร็วของบอล
2. เพื่อเปรียบเทียบทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะที่ส่งผลต่อความเร็วของบอล
3. เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ

### การศึกษาที่ 2

1. เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะเลิศและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ ขณะแข่งขันบนพื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดิน

## คำถามของการวิจัย

### การศึกษาที่ 1

1. ความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นกับความเร็วของบอล มีความสัมพันธ์กันหรือไม่
2. ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ ส่งผลต่อความเร็วของบอลแตกต่างกันหรือไม่
3. ความแม่นยำในการวิ่งตีลูกกระดอนพื้น 4 ทักษะ มีความแตกต่างกันหรือไม่

## การศึกษาที่ 2

1. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ขณะแข่งขันบนสนามเทนนิสแบบพื้นดินมีความแตกต่างกันหรือไม่

## สมมติฐานของการวิจัย

### การศึกษาที่ 1

1. ความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นกับความเร็วของบอลมีความสัมพันธ์กัน

2. ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ ส่งผลต่อความเร็วของบอลแตกต่างกัน

3. ความแม่นยำในการวิ่งตีลูกกระดอนพื้น 4 ทักษะมีความแตกต่างกัน

### การศึกษาที่ 2

1. การตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ขณะแข่งขันบนสนามเทนนิสแบบพื้นดินมีความแตกต่างกัน

## ความสำคัญของงานวิจัย

1. ทราบถึงความสัมพันธ์ระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น ความเร็วของบอล ความแม่นยำในการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือและหลังมือ ทั้งทิศทางตรงและทิศทางแนวทแยง

2. ทราบถึงการตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นบนสนามแบบพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน

3. ผู้ฝึกสอน นักกีฬาและผู้ที่เกี่ยวข้องสามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้กับการวางแผนการฝึกซ้อม ปรับกลยุทธ์ในการเล่นและกำหนดโปรแกรมการสร้างเสริมสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนสนามแบบพื้นดินต่อไป

## ขอบเขตของการวิจัย

### ประชากรในงานวิจัย

ประชากรในการวิจัยครั้งนี้ เป็นนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนเพศชาย อายุ 14-16 ปี ที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันรายการชิงแชมป์ประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี (ระหว่างปี 2560-2565) หรือรับรองโดยสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

### กลุ่มตัวอย่างในการวิจัย

เป็นนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนเพศชาย อายุ 14-16 ปี ที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันรายการชิงแชมป์ประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี (ระหว่างปี 2560-2565) หรือรับรองโดยสมาคมกีฬา

ลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ การคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G\*Power รุ่น 3.1.96 โดยนำค่า Effect Size จากงานวิจัยที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้ (Kilit & Arslan, 2017) มาดัดแปลงได้กลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 16 คน โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Random Sampling) ซึ่งผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างชุดเดียวกันในการศึกษาทั้ง 2 การศึกษา

## ตัวแปรที่ศึกษา

### การศึกษาที่ 1

ตัวแปรอิสระ คือ การวิ่งตีบอลลกระดอนพื้น 4 ทักษะ คือ ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น, ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง, ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น และทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง

ตัวแปรตาม คือ ความสัมพันธ์ ความเร็ว และความแม่นยำของบอล

### การศึกษาที่ 2

ตัวแปรอิสระ คือ การจำลองการแข่งขันเทนนิสบนสนามแบบพื้นดิน

ตัวแปรตาม คือ อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน และพื้นที่ในการเล่น

## นิยามศัพท์เฉพาะ

1. การตอบสนองทางสรีรวิทยา หมายถึง การศึกษาการทำงานของร่างกายที่ตอบสนองในระหว่างการแข่งขันเทนนิส การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาตัวแปรด้านอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย และการเผาผลาญพลังงาน (Fernandez et al., 2006)

2. การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ หมายถึง การศึกษาการเคลื่อนที่ตลอดการแข่งขันเทนนิส การวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่ในการเล่น (Tennis Zone) (Filipic et al., 2021)

2.1 พื้นที่ในการเล่นเกมรุก (Offensive Zone)

2.2 พื้นที่ในการเล่นเกมรับ (Defensive Zone)

3. ความแม่นยำ หมายถึง ความสามารถในการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นให้ลงในพื้นที่เป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ (Landlinger et al., 2012)

4. สนามเทนนิสแบบพื้นดิน หมายถึง สนามเทนนิสมาตรฐานที่รับรองโดยสมาคมเทนนิสนานาชาติ (ITF) ซึ่งพื้นผิวสนามทำจากดินชนิดพิเศษที่ใช้เฉพาะการทำสนามเทนนิสพื้นดินเท่านั้น (ITF, 2021)

5. ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น หมายถึง ทักษะการเคลื่อนที่เข้าตีบอลของนักกีฬาที่ผู้วิจัยกำหนดเพื่อศึกษาความแม่นยำในทักษะการเข้าตีบอลกระดอนพื้นในกีฬาเทนนิส โดยกำหนดไว้ 4 ทักษะ คือ ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น (Running Forehand Down the Line; RFDL), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง (Running Forehand Cross-Court; RFCC), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (Running Backhand Down the Line; RBDL) และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (Running Backhand Cross-Court; RBCC)

### กรอบแนวคิดในการวิจัย

#### การศึกษาที่ 1

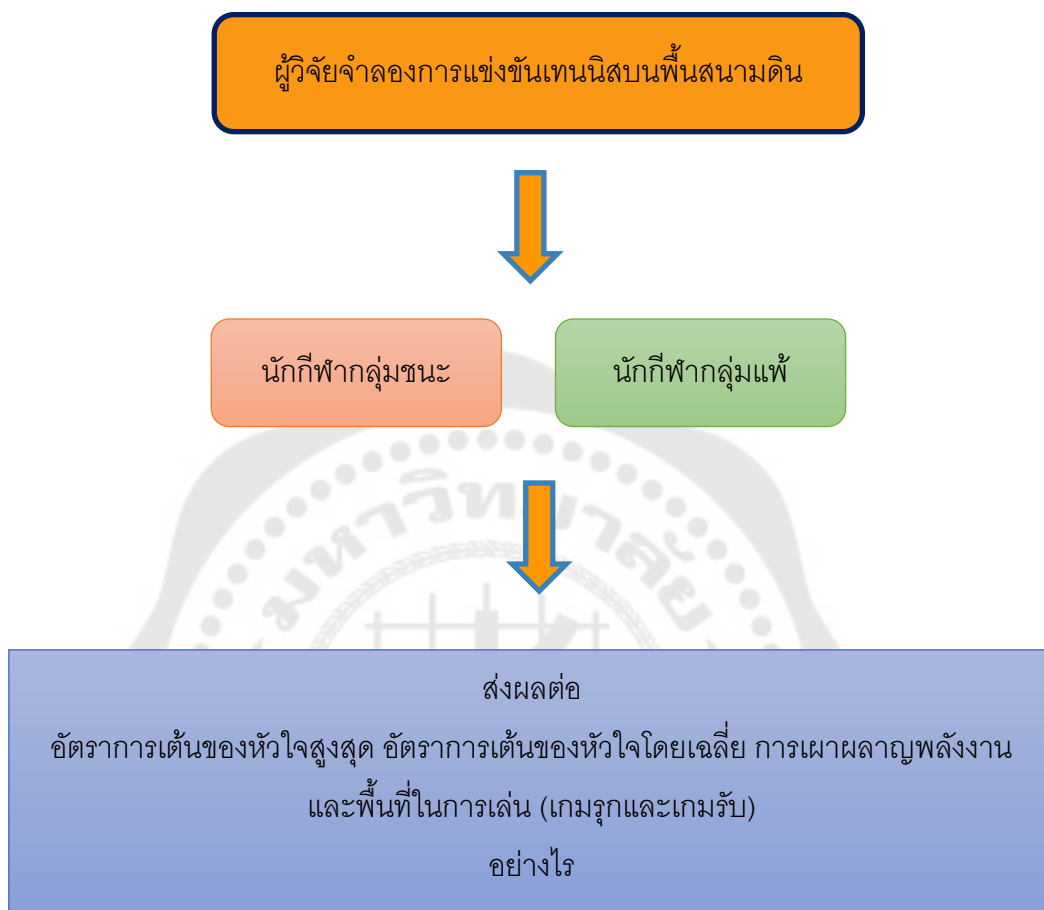
ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ  
(Running Forehand Down the Line,  
Running Forehand Cross-Court,  
Running Backhand Down the Line,  
Running Backhand Cross-Court)



มีความสัมพันธ์ ความเร็ว และส่งผลต่อ  
ความแม่นยำอย่างไร

ภาพประกอบ 1 กรอบแนวคิดการศึกษาที่ 1

## การศึกษาที่ 2



ภาพประกอบ 2 กรอบแนวคิดการศึกษาที่ 2

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้มีการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและได้นำเสนอตามหัวข้อดังนี้

1. ความต้องการและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิส
2. การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในกีฬเทนนิส
3. พื้นผิวสนามเทนนิสประเภทต่าง ๆ
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. ความต้องการและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิส

##### 1.1 ความต้องการทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิส (Physiological Demands in Tennis)

ความต้องการทางสรีรวิทยาในกีฬเทนนิสแต่ละประเภทย่อมมีความแตกต่างกันตามธรรมชาติของกีฬานั้น ๆ เช่น กีฬาประเภทบุคคล กีฬาประเภททีม กีฬาต่อสู้ เป็นต้น สำหรับกีฬเทนนิสมีการแข่งขันทั้งประเภทบุคคล (บุคคลชายและบุคคลหญิง) ประเภทคู่ (ชายคู่ หญิงคู่และคู่ผสม) และประเภททีม (ทีมชายและทีมหญิง) (ITF, 2021) ความสามารถในการวิเคราะห์ความต้องการทางด้านสรีรวิทยาเพื่อต้องการทราบข้อมูลการใช้พลังงานนำไปสู่การกำหนดปริมาณการฝึกซ้อมในแต่ละครั้งได้ ความต้องการด้านระบบพลังงานในนักกีฬเทนนิสที่ผ่านมาสามารถสรุปให้เห็นว่าระบบพลังงานแบบแอนแอโรบิกเป็นระบบพลังงานหลักของนักกีฬเทนนิสในระหว่างเกมการแข่งขันความหนักที่พบอยู่ในช่วง 50-60 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือ 60-70 เปอร์เซ็นต์ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Fernandez et al., 2006) ขณะแข่งขันกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ต้องใช้แรงเต็มที่ในระยะเวลาสั้น ๆ ระบบพลังงานแบบจับพลัน (ATP PCr) มีอิทธิพลต่อนักกีฬาในการแสดงทักษะที่ต้องใช้ความหนักสูงและปฏิบัติซ้ำ ๆ แต่เมื่อประสิทธิภาพในการทำงานของระบบพลังงานแบบจับพลันลดลง เนื่องจากร่างกายไม่สามารถผลิตครีเอทีนฟอสเฟส (Phosphocreatine: PCr) ขึ้นมาใหม่ให้ทันตามความต้องการของร่างกาย ดังนั้นขบวนการสร้างและใช้พลังงานในรูปดังกล่าวจึงเป็นแบบแอนแอโรบิก ในเกมการแข่งขันที่ยาวนานหรือใช้เวลามากกว่าชั่วโมง ร่างกายของนักกีฬาต้องการใช้พลังงานจากออกซิเจนมากขึ้น ขบวนการสร้างและใช้พลังงานแบบแอโรบิกจึงมีบทบาทสำคัญที่จะช่วยในการสังเคราะห์ฟอสฟาเจน (ATP และ PC) กลับคืนสำหรับใช้ในช่องแอนแอโรบิก (Reid et al., 2013) ดังนั้นกระบวนการดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญสำหรับการสร้างพลังงานเอทีพีในระหว่างเกมการแข่งขันเทนนิส

การศึกษาปริมาณการเคลื่อนที่ของนักกีฬาเทนนิส ตลอดเกมการแข่งขันนักกีฬาเทนนิสมีการวิ่งและการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่แตกต่างกันในช่วงระยะเวลาสั้น ๆ เช่นเดียวกับการศึกษาของ Fox et al. (2019) ที่ศึกษาความเที่ยงตรงของเซ็นเซอร์ Polar Team Pro สำหรับวัดความเร็วและระยะทางในการเคลื่อนที่สนามในร่ม โดยแบ่งโซนความเร็วในการวิ่งเป็นความหนักระดับต่ำ (Low-Intensity) ความหนักระดับกลาง (Medium-Intensity) และความหนักระดับสูง (High-Intensity) เครื่องมือชนิดนี้สามารถบันทึกข้อมูลอัตราการเต้นของหัวใจขณะฝึกซ้อมหรือขณะแข่งขันได้ โดยแบ่งระดับความหนักของการทำงานของหัวใจ (Heart Rate Zone) เป็น 5 ระดับ คือ โซน 1 = 50-60% Max Heart Rate (MHR), โซน 2 = 60-70% MHR, โซน 3 = 70-80% MHR, โซน 4 = 80-90% MHR และ โซน 5 = 90-100% MHR มีการศึกษาเกี่ยวกับพื้นสนามแต่ละแบบจะส่งผลต่อการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาแตกต่างกัน และยังมีความแตกต่างในด้านสมรรถนะโดยการศึกษาเกี่ยวกับการฝึกความเร็วบนพื้นทรายในรูปแบบของการฝึกแบบหนักสลับช่วง โดยการวิ่ง 15 วินาที ถึง 45 วินาที สามารถพัฒนาความเร็วในการวิ่ง 20 เมตร ได้ดีกว่ากลุ่มที่ทำการฝึกบนพื้นหญ้า (Binnie, Peeling, et al., 2013) และการวิ่งไป-กลับบนพื้นทรายระยะทาง 12 เมตร สามารถทำความเร็วได้ดี และมีการใช้พลังงานสูงกว่าการวิ่งบนพื้นหญ้า อย่างไรก็ตามการวิ่งบนพื้นทรายในรูปแบบที่มีการเปลี่ยนทิศทางนั้นอาจจะทำให้ความเร็วของการวิ่งลดลงและมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการทำงานของกล้ามเนื้อและข้อต่อ (Gaudino et al., 2013).

## 1.2 การตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาในกีฬาเทนนิส (Physiological Responses in Tennis)

สำหรับงานวิจัยที่มีการศึกษาเกี่ยวกับการตอบสนองทางด้านสรีรวิทยาของนักกีฬาเทนนิสที่ผ่านมา ผู้วิจัยพบว่ามีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาถึงความสามารถในการวิ่งด้วยความเร็วสูงสุดแบบซ้ำ ๆ การศึกษาเกี่ยวกับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดขณะแข่งขัน อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก และระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด รวมทั้งกระบวนการประเมินสมรรถภาพทางกาย โดยงานวิจัยเหล่านั้นได้เสนอมุมมองแนวคิดถึงการฝึกซ้อมเทนนิสต้องมีความเฉพาะเจาะจงกับชนิดกีฬานั้น ๆ หรือใกล้เคียงกับสถานการณ์การแข่งขันจริงให้มากที่สุด (Chapelle et al., 2017) ความต้องการทางสรีรวิทยาขณะแข่งขันจะแตกต่างตามระดับการแข่งขัน ระดับอายุ และเพศ (Girard et al., 2005) ในกลุ่มของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนนั้นจะเป็นวัยที่อยู่ในช่วงของการเจริญเติบโต ลักษณะของโครงสร้างและองค์ประกอบของร่างกายในแต่ละช่วงระดับอายุจะมีการเปลี่ยนแปลงในอัตราที่เร็วมาก (Reilly et al., 2009) อีกทั้งความพร้อมทางด้านร่างกายและสมรรถภาพทางกายที่สัมพันธ์กับทักษะเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญมากต่อขีดจำกัดต่าง ๆ ที่นักกีฬาต้องเจอในขณะแข่งขัน ความสามารถในการเคลื่อนที่ที่ต้องใช้สมรรถภาพทางกาย

ที่เกี่ยวข้องกับความเร็ว ความสามารถในการเปลี่ยนทิศทางแบบฉับพลันทันทีทันใด และพลังของกล้ามเนื้อที่เป็นแรงระเบิดต่าง ๆ ดังนั้นการพัฒนาศักยภาพในนักกีฬาในระดับเยาวชนเพื่อความเป็นเลิศ จึงมีรายละเอียดมากกว่านักกีฬาเทนนิสอาชีพหรือช่วงวัยผู้ใหญ่ ข้อมูลเหล่านี้เป็นสิ่งที่สำคัญมากสำหรับผู้ฝึกสอน เพื่อใช้ในการวางแผนโปรแกรมการฝึกซ้อมและการทดสอบสมรรถภาพให้มีความสอดคล้องและเฉพาะเจาะจงต่อไป

สำหรับการศึกษาทักษะที่นักกีฬาเทนนิสใช้ในขณะแข่งขัน เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละทักษะ และอัตราส่วนระหว่างกิจกรรมที่ใช้ความหนักระดับสูงกับความหนักระดับต่ำ มีความสำคัญต่อการพัฒนาศักยภาพของนักกีฬาเทนนิส ซึ่งข้อมูลเหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์เกมการแข่งขัน (Janák et al., 2019) สอดคล้องกับการศึกษาของ Reid et al. (2016) ได้ศึกษาเรื่องความแตกต่างระหว่างนักเทนนิสชายและหญิงที่ลงแข่งขันในรายการ Australian Open ระหว่างปี 2012-2014 ในเรื่องการเสิร์ฟ (Serve), การตีกลับลูกเสิร์ฟ (Serve Return), การตีลูกกระดอนพื้น (Ground Stroke) และการเคลื่อนที่ในขณะแข่งขัน (Movement) กลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นนักกีฬาเทนนิสจำนวน 197 คน (เพศชาย 102 คน, เพศหญิง 95 คน) ผลการศึกษาพบว่านักกีฬาใช้ทักษะการตีลูกหน้ามือ เท่ากับ  $4.75 \pm 1.45$  ครั้งต่อเกม และใช้ทักษะการตีลูกหลังมือ เท่ากับ  $4.13 \pm 1.76$  ครั้งต่อเกม หรือเทียบเป็นสัดส่วนการตีลูกหน้ามือต่อลูกหลังมือ เท่ากับ  $1.24 \pm 0.73$  ครั้งต่อเกม สอดคล้องกับ Reid and Schneiker (2008) ที่พบว่าในการแข่งขัน Australian Open ตลอดทั้งแมตช์การแข่งขัน นักกีฬาเทนนิสเยาวชนเพศชายใช้ทักษะการตีลูกกระดอนพื้นมากกว่า 312 ครั้งต่อแมตช์ และ 191 ครั้งต่อแมตช์สำหรับนักกีฬาเพศหญิง ทั้งนี้ Murphy et al. (2014b) ได้รายงานว่่านักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนที่มีความสามารถสูงควรมีการฝึกซ้อมทักษะการตีลูกกระดอนพื้นทั้งหน้ามือและหลังมือประมาณ 388 ครั้งต่อการฝึกซ้อมแต่ละครั้ง

ผู้วิจัยพบว่าการศึกษาด้านสรีรวิทยาที่เกี่ยวข้องกับนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนภายในประเทศไทยมีงานวิจัยน้อยมาก ส่งผลให้การสร้างนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนที่มีประสิทธิภาพและต่อยอดไปสู่การเป็นนักกีฬาอาชีพจึงน้อยลงด้วย ผู้วิจัยมองว่าควรได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนตามแผนการพัฒนานักกีฬาอาชีพแบบระยะยาว (Long Term Athlete Development- LTAD) นักกีฬาเทนนิสควรให้ความสำคัญในการฝึกซ้อมและรักษาระดับสมรรถภาพทางกายขั้นพื้นฐานด้านความแข็งแรงของกล้ามเนื้อ (Muscle Strength) ความอดทนของกล้ามเนื้อ (Muscle Endurance) ความอ่อนตัว (Flexibility) ปฏิกริยาการรับรู้ตอบสนองของระบบประสาท (Reaction Time) และการทรงตัว (Balance) ในขณะหยุดนิ่งและขณะเคลื่อนที่ที่บิด การพัฒนา

ความเร็ว (Speed) ความคล่องแคล่วว่องไว (Agility) ตลอดจนความรวดเร็วฉับพลัน (Quickness) และพลังกล้ามเนื้อ (Muscle Power) เพื่อเพิ่มความสามารถในการแข่งขันให้มากขึ้น

## 2. การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในกีฬาเทนนิส

ชีวกลศาสตร์ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิต โดยการนำวิชาฟิสิกส์ มาประยุกต์กับหลักการทางกลศาสตร์ด้วยการวิเคราะห์การใช้แรง และผลที่เกิดจากการใช้แรง ศึกษาการเคลื่อนไหวทางกีฬาโดยนำความรู้ทางด้านกายวิภาคศาสตร์และสรีรวิทยา ระบบโครงร่างกระดูก ข้อต่อ ระบบกล้ามเนื้อและระบบประสาทมาอธิบายการเคลื่อนไหวการทำงานของอวัยวะในร่างกายที่ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพ ความรู้ทางชีวกลศาสตร์จะเป็นเครื่องชี้แนะที่สำคัญสำหรับผู้ฝึกสอนและนักกีฬาที่จะเลือกเทคนิคการฝึกซ้อมกีฬาได้อย่างเหมาะสมยิ่งขึ้น ในการตรวจสอบและเข้าใจข้อผิดพลาดที่จะเกิดขึ้น เช่นเดียวกับ (Firestein et al., 2016) ที่กล่าวถึงชีวกลศาสตร์ว่าเป็นศาสตร์ที่ว่าด้วยการศึกษาการเคลื่อนไหวของสิ่งมีชีวิตโดยการประยุกต์หลักกลศาสตร์รวมกับความรู้ด้านชีววิทยาและสรีรวิทยาในการอธิบายและทำความเข้าใจการทำงานร่วมกันของกระดูก ข้อต่อและกล้ามเนื้อ ซึ่งเป็นประโยชน์ในด้านการพัฒนาประสิทธิภาพการเคลื่อนไหวรวมถึงป้องกันการบาดเจ็บตลอดจนการพัฒนากฎเกณฑ์ที่ใช้ในการกีฬา

การนำหลักกลศาสตร์มาประยุกต์ใช้เพื่ออธิบายผลการเคลื่อนไหวที่มีสาเหตุมาจากแรงที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ทั้งเชิงเส้นและเชิงมุมมีเป้าหมายเพื่อให้ นักวิทยาศาสตร์การกีฬา ผู้ฝึกสอนกีฬา ผู้วิจัยทางการกีฬารวมทั้งนักกีฬาสามารถนำไปเพื่อพัฒนา ปรับปรุงแก้ไขทักษะเทคนิคทางการกีฬา ป้องกันการบาดเจ็บ พัฒนาประสิทธิภาพและศักยภาพในการออกกำลังกาย การฝึกซ้อมเพื่อให้ประสบความสำเร็จในการแข่งขันโดยเห็นถึงความสำคัญในการวิเคราะห์เพื่อหา ข้อบกพร่องและค้นหาวិธีการใหม่ในการเคลื่อนไหวให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น การเคลื่อนไหว ร่างกายหรือส่วนของร่างกายในแนวระนาบจะเคลื่อนที่ผ่านแกนสมมติคือข้อต่อ ระนาบและแกน การเคลื่อนไหวของร่างกายจะช่วยให้ นักชีวกลศาสตร์มีความเข้าใจตรงกันที่จะกล่าวถึงรูปแบบการ เคลื่อนไหวกับบุคคลทั่วไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Joseph, Kathleen, & Timothy, 2015)

### 2.1 ระนาบของร่างกาย (Plane)

ระนาบของร่างกาย (Plane) หมายถึง แผ่นสมมติสองแผ่นที่ลากผ่านร่างกายและแบ่งร่างกายในแนวสมมติออกเป็น 2 ส่วนเท่ากัน ระนาบพื้นฐานถูกแบ่งให้สอดคล้องกับระนาบทั้งสามมิติ โดยหนึ่งระนาบจะตั้งได้เป็นมุมฉากกับอีกสองระนาบ มีแกนการเคลื่อนไหวเป็นส่วนสมมูลของระนาบแต่ละระนาบ ดังนั้นระนาบและแกนทั้งสามจึงมีความสัมพันธ์กันแบ่งออกได้เป็น

2.1.1 ระนาบหน้า - หลัง (Sagittal Plane หรือ Anteroposterior Plane) คือระนาบในแนวดิ่งที่แบ่งส่วนร่างกายจากด้านหน้าไปด้านหลังทำให้ร่างกายถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่ากัน คือด้านซ้ายและด้านขวา มีแกนข้างเป็นแกนตั้งฉาก (Frontal Axis)

2.1.2 ระนาบซ้าย - ขวา (Lateral Plane หรือ Frontal Plane) คือระนาบในแนวดิ่งที่แบ่งส่วนร่างกายจากด้านซ้ายไปด้านขวาทำให้ร่างกายถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนเท่ากันคือด้านหน้าและด้านหลัง มีแกนหน้าหลังเป็นแกนตั้งฉาก (Sagittal Axis)

2.1.3 ระนาบบน - ล่าง (Transverse หรือ Horizontal Plane) คือระนาบในแนวนอนที่แบ่งส่วนร่างกายออกเป็นสองส่วนเท่ากัน คือด้านบนและด้านล่าง มีแกนแนวดิ่งเป็นแกนตั้งฉาก (Vertical Axis) บางครั้งเรียก ระนาบขอบฟ้า

## 2.2 แกนการเคลื่อนไหว (Axis)

แกนการเคลื่อนไหว (Axis) มีความสัมพันธ์กับระนาบพื้นฐาน แกนการเคลื่อนไหวในแต่ละแกนจะตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนไหว แกนการเคลื่อนไหวของร่างกายประกอบด้วย

2.2.1 แกนหน้าหลังขนานขอบฟ้า (Sagittal Horizontal Axis) เป็นแกนในแนวนอนที่ตั้งฉากกับระนาบข้าง ทำหน้าที่เสมือนตัวยึดเมื่อส่วนของร่างกายเคลื่อนที่ในระนาบข้าง

2.2.2 แกนข้างขนานขอบฟ้า (Frontal Horizontal Axis) เป็นแกนในแนวนอนที่ตั้งฉากกับระนาบหน้าหลัง ทำหน้าที่เสมือนตัวยึดเมื่อส่วนของร่างกายเคลื่อนที่ในระนาบหน้าหลัง

2.2.3 แกนแนวดิ่งหรือแกนในแนวตั้ง (Vertical Axis) เป็นแกนที่ตั้งฉากกับพื้นโลกหรือระนาบขอบฟ้า การเคลื่อนไหวส่วนของร่างกายในระนาบขอบฟ้าเป็นการเคลื่อนไหวรอบแกนนี้

## 2.3 ประเภทการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Form of Motion)

ประเภทการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Form of Motion) ประกอบด้วย

2.3.1 การเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง (Transition Motion) เกิดขึ้นเมื่อส่วนของวัตถุหรือร่างกายเคลื่อนที่ไปในระยะทาง ทิศทาง และเวลาที่เท่ากัน มีจุดศูนย์กลางมวลเป็นจุดสมดุลของมวลวัตถุที่เกิดจากแรงโน้มถ่วงของโลกกระทำกับวัตถุ การเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงพิจารณาจากการเคลื่อนที่ที่ลากผ่านวัตถุหรือร่างกายที่มีระยะทางและขนานกับตำแหน่งเดิม

2.3.2 การเคลื่อนที่เชิงมุม (Rotation Motion) เกิดขึ้นเมื่อวัตถุหรือร่างกายมีการเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งรอบเส้นสมมติในอากาศ วัตถุหรือร่างกายมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันด้วยมุมและเวลาที่เท่ากัน เส้นสมมติในอากาศเรียกว่า “แกนของการหมุน (Axis of Motion)” ซึ่งจะตั้งฉากกับระนาบการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือร่างกายและอาจพาดผ่านวัตถุหรือร่างกายนั้น การเคลื่อนที่เชิงมุมสามารถเกิดขึ้นรอบแกนผ่านจุดศูนย์กลางมวลซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ตามเส้น โค้งของวงกลมที่ตัดโดยมุมของระยะทางเชิงเส้นของจุดหมุนจากแกน เรียกว่า

รัศมีของการหมุน ( $r$ ) มีหน่วยเป็นเรเดียน (Radian) และเท่ากับอัตราส่วนความยาวของเส้นโค้ง ( $d$ ) ต่อความยาวรัศมี ( $r$ )

2.3.3 การเคลื่อนที่แบบผสมผสาน (General Motion) เป็นการผสมผสานการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรงและการเคลื่อนที่เชิงมุม ส่วนใหญ่พบการเคลื่อนที่เชิงมุมมากกว่าการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง การเคลื่อนที่ลักษณะนี้พบมากที่สุดในด้านเทคนิคทางการกีฬาโดยนักกีฬาจะมีการถ่ายโยง การเคลื่อนไหวเชิงมุมของส่วนของร่างกายบริเวณส่วนของสะโพก ข้อเข่า ข้อเท้า ในขณะเดียวกัน ร่างกายจะมีการเคลื่อนที่เป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้นตรง

การวิเคราะห์ชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา แบ่งออกเป็น 2 สาขา ประกอบด้วย

1. สถิตยศาสตร์ (Static) เป็นสาขาทางกลศาสตร์ที่เกี่ยวกับแรงกระทำภายใต้สภาวะสมดุล โดยเน้นการศึกษาสมดุลของแรงที่กระทำต่อวัตถุโดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ เพื่อวิเคราะห์หาแรงและโมเมนต์ที่กระทำต่อวัตถุ

2. พลศาสตร์ (Dynamic) เป็นสาขาทางกลศาสตร์ในสภาวะที่มีการเคลื่อนที่ เพื่อศึกษา ลักษณะการเคลื่อนที่ที่มีความเร่ง (Acceleration) และผลกระทบของแรงที่เกี่ยวข้อง การวิเคราะห์แบบพลศาสตร์แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1 คินเมติกส์ (Kinematic) เป็นการศึกษาเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของวัตถุ หรือส่วนของร่างกาย ประกอบด้วย การเคลื่อนที่เชิงเส้นและการเคลื่อนที่เชิงมุม โดยคำนึงถึงลักษณะ และส่วนประกอบของการเคลื่อนที่ที่เปลี่ยนแปลงเพื่อหาระยะทาง ความเร็ว และความเร่ง ตลอดช่วงการเคลื่อนที่โดยไม่พิจารณาถึงสาเหตุที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ (อรรวิทย์, 2553) การเคลื่อนที่ในรูปแบบคินเมติกส์ แบ่งออกเป็น

2.1.1. คินเมติกส์เชิงเส้นตรง (Linear Kinematics) เป็นการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งในลักษณะเส้นตรง (Translational or Linear Motion) การเคลื่อนที่ลักษณะนี้แบ่งย่อยได้เป็น 3 ลักษณะ คือ

2.1.1.1 การเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Rectilinear Motion) เป็นการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งในลักษณะเส้นตรง

2.1.1.2 การเคลื่อนที่เป็นเส้นโค้ง (Curvilinear Motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือร่างกายเป็นแนวโค้ง เช่น การเคลื่อนที่ของลูกน้ำหนัก เป็นต้น ส่วนการเคลื่อนที่ของลูกตุ้มนาฬิกา การไล่ชิงช้าหรือการแกว่งตัวไปมาบนบาร์เดี่ยว เป็นการเคลื่อนที่แบบออสซิลเลชัน (Oscillation Motion) หมายถึง การเคลื่อนที่เป็นรอบหรือการเคลื่อนที่เป็นคาบรอบตำแหน่งสมดุล

2.1.1.3 การเคลื่อนที่กลับไปมา (Reciprocating Motion) เป็นการเคลื่อนที่ของวัตถุหรือส่วนของร่างกาย จากจุดหนึ่งไปยังจุดหนึ่งและทำซ้ำกัน เช่น การเลี้ยวลูกบาสเกตบอล การเตะลูกเทนนิส และการเตะลูกบอล เป็นต้น

2.1.2 คิเนเมติกส์เชิงมุม (Angular Kinematics) เป็นการเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปอีกจุดหนึ่งแบบหมุนหรือแนวโค้ง (ศิริรัตน์, 2551) การเคลื่อนที่รอบเส้นสมมุติ เรียกว่า แกนของการหมุน (Axis of Rotation) การเคลื่อนที่ของร่างกายจากตำแหน่งเดิม เกิดจากการที่ส่วนของร่างกายมีการหมุนรอบข้อต่อ จากการทำงานของร่างกายส่วนล่างทำให้ร่างกายทั้งหมดเคลื่อนที่จากจุดเดิมไปยังจุดใหม่ได้

การเคลื่อนที่หรือการเคลื่อนที่ของร่างกายในขณะเล่นกีฬาที่มีความซับซ้อนมาก การเข้าใจลักษณะการเคลื่อนที่จะช่วยให้ผู้ฝึกสอนสามารถพัฒนาศักยภาพนักกีฬาให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นได้ การเปลี่ยนแปลงปริมาณและทิศทางการเคลื่อนที่ของร่างกายสามารถหาได้จาก

1. ระยะทางและระยะขจัด (Distance and Displacement) ระยะทาง (Distance) เป็นความยาวของแนวการเคลื่อนที่ของวัตถุและระยะการเปลี่ยนตำแหน่ง ส่วนระยะขจัด (Displacement) เป็นความยาวของเส้นตรงที่เชื่อมระหว่างจุดเริ่มต้นกับจุดสุดท้ายของการเคลื่อนที่ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{ระยะการเปลี่ยนตำแหน่ง} = \text{ตำแหน่งสุดท้าย} - \text{ตำแหน่งเริ่มต้น}$$

หากวัตถุมีการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งไปอีกตำแหน่งหนึ่งในแนวโค้ง การเปลี่ยนแปลงตำแหน่งหรือระยะทางเชิงมุม (Angular Distance) ของวัตถุที่เคลื่อนที่ไปมีค่าเท่ากับมุมระหว่าง ตำแหน่งแรกและตำแหน่งสุดท้าย โดยจะวัดมุมนี้ตามแนวที่วัตถุเคลื่อนที่ไป ปริมาณที่บอกว่าการ เปลี่ยนแปลงการหมุนของร่างกายคือ มุมที่เปลี่ยนไป (Angular Displacement) มีหน่วยเป็น เรเดียน (Radian) ทิศทางของระยะขจัดเชิงมุมใช้หลักการว่าทิศทางทวนเข็มนาฬิกา เป็นทิศที่มีค่าบวก และทิศทางตามเข็มนาฬิกาเป็นทิศที่มีค่าลบ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{มุมที่เปลี่ยนไป (Angular Displacement)} = \text{มุมสุดท้าย} - \text{มุมเริ่มต้น}$$

2. ความเร็วและอัตราเร็ว (Speed and Velocity) เมื่อความเร็วในการเลี้ยวเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้จำนวนการเลี้ยวเอซ (Ace) มากขึ้นและปริมาณการโต้กลับที่ดีจะลดลง Hannes (2017) กล่าวว่า ความเร็วของลูกเทนนิสที่มากกว่า 200 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในการแข่งขันเทนนิสระดับอาชีพ และพบความเร็วในการเลี้ยวระหว่าง 145-180 กิโลเมตรต่อชั่วโมงในนักกีฬามือสมัครเล่น

ความเร็ว (Speed) ที่ร่างกายเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปอีกตำแหน่งหนึ่ง ด้วยความเร็วเฉลี่ยของร่างกาย คือระยะทางหารด้วยเวลาที่เคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$S = \lambda / t$$

เมื่อ  $S$  = ความเร็วเฉลี่ย (Speed)

$\lambda$  = ระยะทาง (Distance)

$t$  = ระยะเวลาที่เคลื่อนที่

อัตราเร็วเฉลี่ย (Velocity) คือระยะขจัด (Displacement) หารด้วยเวลาที่เคลื่อนที่ มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$v = d / t$$

เมื่อ  $v$  = อัตราเร็วเฉลี่ย (Velocity)

$d$  = ระยะขจัด (Displacement)

$t$  = ระยะเวลาที่เคลื่อนที่

ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยและอัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย หาได้จากระยะทางเชิงมุม (Angular Distance) และระยะขจัดเชิงมุม (Angular Displacement) หารด้วยเวลาที่เคลื่อนที่ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\omega = \theta / t$$

เมื่อ  $\omega$  = ความเร็วเชิงมุมเฉลี่ยหรืออัตราเร็วเชิงมุมเฉลี่ย

$\theta$  = ระยะทางเชิงมุมหรือระยะขจัดเชิงมุม

3. อัตราเร่ง (Acceleration) เป็นสิ่งสำคัญต่อความสำเร็จของนักกีฬา โดยขึ้นอยู่กับ ความสามารถในการเพิ่มหรือลดความเร็ว อัตราเร่ง (Acceleration) หมายถึง การเปลี่ยนแปลง อัตราความเร็วต่อหนึ่งหน่วยเวลาเพื่อเปลี่ยนตำแหน่งไปในทิศทางที่ต้องการให้เร็วขึ้นหรือช้าลง ประกอบด้วยขนาดและทิศทาง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$a = V_f - V_i / t$$

เมื่อ  $a$  = อัตราเร่ง

$V_f$  = อัตราเร็วปลาย

$V_i$  = อัตราเร็วเริ่มต้น

$t$  = ระยะเวลา

อัตราเร่งของวัตถุในทิศทางที่ลงสู่พื้นโลกเกิดจากอิทธิพลของโลกที่มีต่อวัตถุที่อยู่ใกล้พื้นโลก เรียกว่าแรงดึงดูดของโลก (Gravity) อัตราเร่งที่เกิดจากแรงดึงดูดของโลกมีค่าคงที่ คือ 32 ฟุตต่อวินาทียกกำลังสอง หรือ 9.8 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ( $m/s^2$ ) ค่านี้อาจมีความแตกต่างในแต่ละจุดบนผิวโลก เนื่องจากอิทธิพลแรงดึงดูดของโลก โดยใช้อักษร  $g$  แทนค่าอัตราเร่งจากแรงดึงดูดของโลก แรงดึงดูดของโลกมีอิทธิพลต่อการทุ่ม ฟัง ขว้างวัตถุในอากาศ เนื่องจากเมื่อวัตถุถูกปล่อยออกจากมือ แรงดึงดูดของโลกจะเริ่มกระทำต่อวัตถุนั้นทันทีเป็นเหตุให้แรงที่ส่งออกไปในแนวนอน ส่งวัตถุไปในระยะไกลที่สุดก่อนตกลงสู่พื้น

อัตราเร่งเชิงมุม (Angular Acceleration) เป็นอัตราเร็วเชิงมุมที่มีการเปลี่ยนแปลงใน ระยะเวลาหนึ่ง เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\alpha = \omega_f - \omega_i / t$$

โดย  $\omega_f$  = อัตราเร็วเชิงมุมสุดท้าย

$\omega_i$  = อัตราเร็วเชิงมุมเริ่มต้น

$t$  = เวลา

2.2 คิเนติกส์ (Kinetics) เป็นการศึกษาการเคลื่อนที่ของวัตถุที่เกี่ยวข้องกับแรงที่กระทำกับวัตถุ โดยคำนึงถึงแรงที่มากระทำให้เกิดการเคลื่อนไหว ซึ่งอาจเป็นผลจากแรงจากภายนอก (External Force) เป็นแรงปฏิกิริยาที่เกิดจากการทำงานหรือแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravitational Force) และแรงในรูปของความเสียดทาน (Friction) ในขณะที่แรงจากภายใน (Internal Force) เป็นแรงที่เกิดจากการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อภายในร่างกาย เพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหว หรือรักษาสภาพสมดุล

2.2.1 โซ่คิเนติกส์ (Kinetic Chain) เป็นรูปแบบการเคลื่อนไหวในขณะเล่นกีฬา เป็นการทำงานในลักษณะการหดตัวและคลายตัวของกล้ามเนื้อที่ถูกสั่งการจากระบบประสาทให้กล้ามเนื้อแต่ละส่วนทำงานประสานสัมพันธ์กันและเชื่อมโยงกัน มีการส่งถ่ายแรงหรือเกิดโมเมนตัมเชิงมุมผ่านแนวแรงตามลำดับอย่างเหมาะสมในเวลาที่ถูกต้อง เกิดการทำงานร่วมกันเป็นลำดับอย่างต่อเนื่องในสภาพลูกโซ่ การเล่นเทนนิสให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต้องอาศัยการเคลื่อนไหวที่ดีเพื่อให้เกิดแรงกระทำที่พอดี การเคลื่อนไหวที่มีประสิทธิภาพจะลดแรงกระทำและแรงเสียดทานต่อเอ็นกล้ามเนื้อ ทำให้ลดปัจจัยเสี่ยงต่อการบาดเจ็บ กลไกโซ่คิเนติกส์ประกอบด้วย การสร้างแรง (Generation) การรวมแรง (Summation) และการถ่ายโอนแรง (Transfer) รวมทั้งการปรับแรงจากขาไปยังมือ (Elliott, 2006, Elliott et al., 2003, Fernandez - Fernandez et.al., 2013)

### 2.2.2 กฎการเคลื่อนที่ของนิวตัน (Newton's Law of Motion) ประกอบด้วย

กฎพื้นฐานข้อที่ 1 ของนิวตัน (Newton's First Law) หรือกฎว่าด้วยความเฉื่อย (Law of Inertia) กล่าวว่า “วัตถุทุกชนิดจะอยู่ในสภาวะอยู่นิ่งหรือเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ตลอดไปถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำต่อวัตถุนั้น” เมื่อมีการขว้างลูกเทนนิสขึ้นไปในอากาศและการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสจะโค้งตกลงสู่พื้นด้วยความเร็วที่ลดลง เพราะมีแรงภายนอกมากระทำสองแรงด้วยกันคือแรงโน้มถ่วงของโลกและแรงต้านทานอากาศ เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\Sigma F = 0$$

กฎพื้นฐานข้อที่ 2 ของนิวตัน (Newton's Second Law) กล่าวว่า “แรงลัพธ์ที่กระทำกับวัตถุจะแปรผันโดยตรงกับความเร่ง โดยวัตถุที่มีมวลมากจะมีความเร่งน้อย หรือความเร่งของวัตถุจะแปรผันกับมวล” กฎข้อนี้เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของวัตถุที่มีความเร่ง เมื่อมีแรงภายนอกสุทธิมากระทำต่อวัตถุที่ไม่เป็นศูนย์ แรงลัพธ์ที่กระทำบนวัตถุมวล (m) จะเท่ากับมวลของวัตถุนั้นคูณกับความเร่ง (a) หรือเรียกอีกอย่างว่า กฎว่าด้วยความเร่ง (Law of Acceleration) เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\Sigma F = ma$$

กฎข้อนี้สามารถอธิบายได้ว่าแรงเป็นสาเหตุที่ทำให้วัตถุมีความเร่ง โดยแรงที่กระทำกับวัตถุจะทำให้วัตถุมีความเร่งในทิศทางของแรงและขนาดของแรงจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเร่ง ในกรณีที่ปล่อยวัตถุใกล้ผิวโลกวัตถุจะมีแรงมากระทำ เนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกทำให้วัตถุตกด้วยความเร่ง 9.8 เมตรต่อวินาทียกกำลังสอง ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )

กฎพื้นฐานข้อที่ 3 ของนิวตัน (Newton's Third Law) หรือกฎของแรงกิริยากับแรงปฏิกิริยา (Law of action and Reaction) กล่าวว่า “แรงที่วัตถุหนึ่งกระทำต่อวัตถุหนึ่งเรียกว่าแรงกิริยา (Action) และจะมีแรงขนาดเท่ากันคือแรงปฏิกิริยา (Reaction) กระทำต่อวัตถุนั้น แต่มีทิศทางตรงกันข้าม” เขียนเป็นสมการได้ว่า

$$\text{Action (แรงกิริยา)} = \text{Reaction (แรงปฏิกิริยา)}$$

การเคลื่อนไหวของมนุษย์มีรูปแบบที่ซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว การสังเกตด้วยสายตาอาจไม่สามารถเก็บรายละเอียดลักษณะการเคลื่อนไหวได้ครบถ้วน จึงมีการนำกล้องวิดีโอมาใช้เพื่อบันทึกภาพการเคลื่อนไหวของร่างกาย การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวสามารถวัดตามมิติการเคลื่อนไหวได้ 3 ประเภท

1. การวัดการเคลื่อนไหวแบบหนึ่งมิติ (One - Dimensional Measurement) เป็นการวัดระยะการเคลื่อนไหวซึ่งเป็นระยะทางที่เคลื่อนที่สูงสุด (มิลลิเมตรหรือเซนติเมตร) หรือช่วงการเคลื่อนไหวของข้อต่อสูงสุด (องศา) ทั้งนี้การวิเคราะห์ทางการกีฬาจะไม่ใช้วิธีนี้

2. การวัดการเคลื่อนไหวแบบสองมิติ (Two - Dimensional Measurement) เป็นการวัดระยะมุมที่เกิดขึ้นในขณะที่มีการเคลื่อนไหว แต่ละระนาบโดยใช้กล้องวิดีโอเพียงตัวเดียว นิยมใช้เพื่อศึกษาการเคลื่อนไหวของวัตถุหรือร่างกายเป็นเส้นตรงหรือในระนาบ ภาพที่บันทึกได้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวหรือตำแหน่งของวัตถุเฉพาะแกนแนวนอน (ด้านซ้ายขวา) และแกนแนวตั้ง (ด้านบนล่าง) เท่านั้น สามารถวิเคราะห์มุมของส่วนของร่างกายและระบุตำแหน่งจุดศูนย์กลางมวล (Center of Mass) ควบคู่กับระนาบการเคลื่อนที่ (Movement Plane) อีกด้วย แต่การเคลื่อนที่หรือเคลื่อนไหวของมนุษย์เกิดขึ้นในสามระนาบ (3D) การวิเคราะห์วิธีนี้อาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนได้

3. การวัดการเคลื่อนไหวแบบสามมิติ (Three - Dimensional Measurement) เป็นการวัดระยะมุมที่เกิดขึ้นขณะที่มีการเคลื่อนไหวจริงในสามมิติหรือการวัดเทียบระนาบซ้ายขวา (Sagittal Plane) ระนาบหน้าหลัง (Frontal Plane) และระนาบตัดขวาง (Transverse Plane) การเคลื่อนไหวหนึ่งระนาบอาจสัมพันธ์กับระนาบที่เหลือ การวัดวิธีนี้มีข้อตกลงเบื้องต้น คืออวัยวะที่เคลื่อนไหวมีรูปทรงแน่นอน แนวจุดศูนย์กลางถ่วงของอวัยวะที่เคลื่อนไหวจะเกิดขึ้นรอบข้อต่อของอวัยวะนั้น และแกนของข้อต่อจะถูกตรึงให้หมุนไปตามระนาบที่อ้างอิงโดยไม่มีแรงเสียดทาน การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติต้องใช้กล้องอย่างน้อยสองตัว โดยตำแหน่งของกล้องวางห่างกันเป็นมุม 60 - 90 องศา ซึ่งกันและกันเพื่อให้ทราบการเปลี่ยนตำแหน่งของตัวบอกตำแหน่งได้อย่างแม่นยำทั้งสามมิติ (อนุชิต, 2552) การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติในห้องปฏิบัติการเป็นวิธีมาตรฐาน (Gold Standards) เนื่องจากมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำสูง วิเคราะห์คิเนแมติกส์ได้หลายมิติรวมทั้งแรงหมุนระหว่างข้อต่อ (Rotation Forces Across Joint) อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบสามมิติมีข้อจำกัดค่อนข้างเยอะ เนื่องจากอุปกรณ์มีราคาสูงมากตลอดจนความยุ่งยากในการติดตั้งใช้ระยะเวลานาน และต้องอาศัยผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ข้อมูล

บทบาทของชีวกลศาสตร์ในกีฬเทนนิสมีความจำเป็นและสำคัญยิ่งเพื่อช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องในการออกแรงและปรับปรุงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว เช่น มุมระยะทาง อัตราเร็ว อัตราเร่ง โมเมนตัม (อนูชิต เรือนก้อน, 2552) โดยเฉพาะทักษะการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือ (Forehand Groundstroke) การตีบอลกระดอนพื้นหลังมือ (Backhand Groundstroke) การเสิร์ฟ (Serve) และการเคลื่อนไหวพื้นฐานที่เน้นการก้าวเท้าระยะสั้น ๆ สลับกันกับการก้าวเท้าออกทางด้านข้างหรือสไลด์เท้าในพื้นที่สนามแบบพื้นดิน การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของนักกีฬาในสภาวะคงที่ (Static) ซึ่งเป็นการศึกษาการทำงานในขณะวัตถุหยุดนิ่งหรือเคลื่อนไหวด้วยความเร็วสม่ำเสมอ และการวิเคราะห์ในสภาวะเคลื่อนไหว (Dynamic) ที่เป็นการศึกษาการทำงานของวัตถุที่มีการเคลื่อนไหวหรือมีความเร่ง (ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์, 2551)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาและวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ในนักกีฬาเทนนิสภายในประเทศที่ผ่านมาจะเกี่ยวข้องกับทักษะที่ใช้ในกีฬเทนนิส เช่น การตีบอลกระดอนพื้นทั้งทางด้านหน้ามือและหลังมือ เปรียบเทียบการตีบอลกระดอนพื้นหลังมือแบบมือเดียวและสองมือ มุมของการเอนลำตัวในการเพิ่มความเร็วยกเสิร์ฟ การศึกษาผลของการจับไม้เทนนิสและกล้ามเนื้อลำตัวที่มีต่อการสั่นสะเทือน เป็นต้น ส่วนงานวิจัยต่างประเทศที่เกี่ยวข้องจะมุ่งศึกษาวิเคราะห์กลไกการทำงานของร่างกายที่เชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ ยกตัวอย่างทักษะการเคลื่อนไหวร่างกายของการเสิร์ฟในกีฬเทนนิส ซึ่งนักกีฬาเทนนิสระดับโลกสามารถพัฒนาความเร็วของการเสิร์ฟลูกเทนนิสให้ลูกเสิร์ฟมีความเร็วสูงถึง 153 ไมล์/ชม. หรือประมาณ 245 กม./ชม. (Reid & Elliott, 2002) หรือการศึกษาความแตกต่างทางจลนศาสตร์ของนักกีฬาเทนนิสทั่วไปกับนักกีฬาเทนนิสที่มีความสามารถสูงในทักษะการตีบอลกระดอนพื้นแนวตรงและทิศทางแนวทแยง ในนักกีฬาเทนนิสเพศชาย 13 คน อายุเฉลี่ย 23 ปี โดยแบ่งกลุ่มเป็นนักกีฬาเทนนิสชั้นเลิศ 6 คนและกลุ่มนักกีฬาเทนนิสที่มีความสามารถสูง 7 คน โดยมีมืออันดับระดับนานาชาติ (ATP Ranking) และระดับชาติ (National Ranking) ผู้วิจัยได้ติดตั้งกล้องวิเคราะห์ภาพเคลื่อนไหว 3 มิติ (Vicon Peak, Oxford, UK) จำนวน 8 ตัว เพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของตำแหน่งต่าง ๆ ของร่างกายที่ทำการติดตั้งมาร์คเกอร์ พบว่านักกีฬากลุ่มชั้นเลิศสามารถเพิ่มความเร็วยกเสิร์ฟได้สูงกว่ากลุ่มนักกีฬาเทนนิสที่มีความสามารถสูงเมื่อตีบอล ณ จุดกระทบ และไม่พบความแตกต่างของตำแหน่งสะโพก ตำแหน่งไหล่เมื่อสิ้นสุดการเหวี่ยงไม้ไปทางด้านหลัง (Landlinger et al., 2010) และยังมีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับความสามารถในการเคลื่อนที่ของนักกีฬา พบว่าระยะทางโดยเฉลี่ยในการวิ่งเพื่อตีบอล 1 ครั้ง เท่ากับ 3 เมตร และใช้ระยะทางเฉลี่ยรวม 8-15 เมตร ต่อการได้แต้ม 1 แต้ม หากคิดเป็นระยะทางรวมในการแข่งขัน เท่ากับ 1,300 -3,600 เมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับ

ฝีมือของนักกีฬา (ระดับมืออาชีพหรือมือสมัครเล่น) และพื้นสนามที่ใช้แข่งขัน (พื้นสนามแบบช้าหรือพื้นสนามแบบเร็ว) (Fernandez-Fernandez et al., 2011) การศึกษาของ Starbuck et al. (2017) เรื่องการตอบสนองทางชีวกลศาสตร์ต่อการเปลี่ยนแปลงความเสียดทานบนสนามแบบพื้นผิวดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของคุณสมบัติแรงเสียดทานของคอร์ติดินที่มีต่อชีวกลศาสตร์ของนักกีฬาเทนนิส รวบรวมข้อมูลจลนศาสตร์และแรงของร่างกายส่วนล่างกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสระดับมหาวิทยาลัย 16 คน เคลื่อนที่ด้วยความเร็วในการวิ่ง  $3.9 \pm 0.20$  เมตรต่อวินาที บนพื้นผิวดินเหนียวสังเคราะห์ที่มีแรงเสียดทานต่างกัน พบว่า ระยะทางในการเคลื่อนที่แบบสไลด์มีมากขึ้นสังเกตได้จากสภาวะเสียดทานต่ำสุด ระยะการเคลื่อนที่มากขึ้นเมื่อแรงเสียดทานของพื้นผิวดินเหนียวลดลง แสดงให้เห็นว่าน้ำหนักมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอ ลดความเสี่ยงในการบาดเจ็บของผู้เล่น Elliott et al. (2003) ได้กล่าวถึงหลักของชีวกลศาสตร์ ดังนี้

B = Balance คือ การทรงตัว

I = Inertia คือ แรงเฉื่อย

O = Opposite Force คือ แรงตรงกันข้าม

M = Momentum คือ โมเมนตัม

E = Elastic Energy คือ พลังงานยืดหยุ่น

C = Coordination Chain คือ การทำงานร่วมกันแบบลูกโซ่

การทรงตัว (Balance) หมายถึง ความสามารถในการรักษาความสมดุลของร่างกาย ไม่ว่าจะเป็นขณะอยู่กับที่ (Static) หรือขณะเคลื่อนที่ (Dynamic) เนื่องจากเทนนิสเป็นกีฬาที่มีการเคลื่อนไหวและเคลื่อนที่อย่างต่อเนื่อง นักกีฬาเทนนิสจึงรักษาการทรงตัวขณะเคลื่อนที่ (Dynamic balance)

แรงเฉื่อย (Inertia) หมายถึง การที่วัตถุจะรักษาสภาพการเคลื่อนที่ไปในลักษณะนั้นไปจนกว่าจะมีแรงภายนอกมากระทำ เช่น รถที่วิ่งเร็วและเบรคอย่างกะทันหัน รถจะไถลไปข้างหน้าตามทิศทางของแรง โดยไม่สามารถควบคุมได้เนื่องจากมีแรงเสียดทานระหว่างล้อรถยนต์กับพื้นผิวถนน ซึ่งถือว่าเป็นแรงภายนอกมากระทำจึงทำให้รถหยุด ในกีฬาเทนนิสเมื่อเราวิ่งไปตีลูกทางด้านโฟร์แฮนด์และต้องกลับตัวมาตีด้านแบคแฮนด์ ในจังหวะที่กลับตัวเราจำเป็นต้องย่อตัวต่ำและใช้ขาข้างหนึ่งยันพื้นจึงจะกลับตัวได้ ทั้งนี้เพราะการย่อตัวต่ำคือการอาศัยแรงโน้มถ่วงของโลกเอาชนะ แรงเฉื่อยผ่านทางกล้ามเนื้อขาทำให้ร่างกายหยุดการเคลื่อนที่ในระยะสั้นและสามารถกลับตัวไปยังทิศทางตรงข้ามได้

แรงตรงกันข้าม (Opposite Force) กฎข้อที่ 3 ของนิวตันกล่าวไว้ว่า “แรงกระทำทุกแรง จะต้องมีความปฏิกิริยาซึ่งมีขนาดเท่ากันและทิศทางตรงกันข้าม” เพราะฉะนั้นการที่เราย่อเข้าและดันตัวขึ้นในช่วงที่ตีลูกเท่ากับเราใช้แรงปฏิกิริยาของพื้น (Ground Reaction Force: GRF) ช่วยตีลูกซึ่งแรงปฏิกิริยาดังกล่าว ช่วยให้นักกีฬากระโดดลอยตัวขึ้นตีลูกเทนนิสได้ โดยเป็นการเอาน้ำหนักตัวทั้งหมดช่วยในการตีลูกทำให้ลูกมีพลังรุนแรง นอกจากนี้แรงปฏิกิริยาจากพื้นยังช่วยในการออกตัวและกลับตัวเปลี่ยนทิศทางได้อย่างรวดเร็ว ถ้าไม่มีแรงตรงข้ามนักกีฬาก็ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว

โมเมนตัม (Momentum) เป็นปริมาณการเคลื่อนที่ของวัตถุ ยิ่งวัตถุเคลื่อนที่เร็วเท่าไรยิ่งมีโมเมนตัมมากขึ้นเท่านั้น โมเมนตัมแบ่งเป็น 2 ชนิด คือ

1. โมเมนตัมเชิงเส้น (Linear Momentum) เช่น การตีแบดแฮนด์ไลน์ต้องถ่วงน้ำหนักไปยังทิศทางที่เราจะตีลูก การถ่วงน้ำหนักที่เป็นเส้นตรงในลักษณะนี้ทำให้เกิดโมเมนตัมเชิงเส้น

2. โมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum) เช่น การตีโฟร์แฮนด์จะใช้วิธีหมุนสะโพกและลำตัว ทำให้เกิดแรงจากการหมุนขึ้น แรงที่เกิดในลักษณะนี้เรียกว่าโมเมนตัมเชิงมุม

พลังงานศักย์ยืดหยุ่น (Elastic Energy) เป็นพลังงานที่เกิดจากการยืดตัวและหดตัวของเอ็นกล้ามเนื้อ ทุกครั้งที่เอ็นกล้ามเนื้อยืดออกเอ็นกล้ามเนื้อจะสะสมพลังงานศักย์ยืดหยุ่นไว้จนกระทั่งเอ็นกล้ามเนื้ออยู่ตำแหน่งที่ยืดตัวสุด ในช่วงนั้นพลังงานจะถูกสะสมมากที่สุดเมื่อกำลังกล้ามเนื้อหดตัวพลังงานศักย์ยืดหยุ่นที่สะสมอยู่ในเอ็นจะถูกปลดปล่อย จึงช่วยให้กล้ามเนื้อหดตัวได้อย่างรวดเร็วและมีพลังงานเกิดขึ้น โดยไม่ต้องอาศัยการเผาผลาญพลังงานของร่างกาย พลังงานนี้ช่วยให้นักกีฬาประเภทลู่วิ่งออกตัวได้อย่างรวดเร็ว และในกีฬาเทนนิสจะช่วยให้นักกีฬาสามารถเลิฟได้แรงมากขึ้น โดยการย่อเข้าเพื่อสะสมพลังงานศักย์ยืดหยุ่นและปล่อยพลังงานพลังงานศักย์ยืดหยุ่น ในช่วงที่เหยียดเข้าเพื่อยืดไม่สิ้นสุดไปตีลูก

การทำงานร่วมกันแบบลูกโซ่ (Coordination Chain) เป็นกลไกการทำงานส่วนต่าง ๆ ของร่างกายร่วมกัน มีการทำงานเป็นระบบเชื่อมต่อกันเป็นลูกโซ่ ทำให้แรงที่เกิดจากร่างกายส่วนหนึ่งสามารถส่งและไปรวมกับแรงที่เกิดจากร่างกายอีกส่วนหนึ่ง เกิดเป็นการรวมแรง (Summation of Force)

### 3. พื้นผิวสนามเทนนิสประเภทต่าง ๆ

การแข่งขันเทนนิสมีทั้งสนามกลางแจ้งและสนามในร่ม พื้นสนามมีความหลากหลายและใช้วัสดุที่แตกต่างกันถือเป็นเสน่ห์อย่างหนึ่งในการแข่งขันเทนนิส การแข่งขันรายการแกรนด์สแลมจะประกอบไปด้วย 4 รายการ คือ รายการออสเตรเลียโอเพ่น (Australian Open) แข่งขันบนพื้นสนามแบบพื้นแข็ง (Hard Court) สีของสนามเป็นสีฟ้า โดยทำการแข่งขันในเดือนมกราคมของทุกปีที่ประเทศออสเตรเลีย, รายการเฟรนช์ โอเพ่น (French Open) แข่งขันบนพื้นสนามที่เป็นพื้นดิน (Clay Court) สีของสนามจะเป็นสีแดงอิฐจากดินพิเศษที่ใช้ทำพื้นสนาม โดยทำการแข่งขันในเดือนพฤษภาคม-มิถุนายนของทุกปีที่ประเทศฝรั่งเศส, รายการวิมเบิลดัน (Wimbledon) แข่งขันบนพื้นสนามแบบหญ้า (Grass Court) สีของสนามเป็นสีเขียวจากหญ้าชนิดพิเศษที่ใช้ปูเป็นพื้นสนาม โดยทำการแข่งขันในเดือนมิถุนายน-กรกฎาคมของทุกปีที่ประเทศอังกฤษ และรายการยูเอสโอเพ่น (US. Open) แข่งขันบนพื้นสนามแบบพื้นแข็ง สีของสนามเป็นสีฟ้า โดยทำการแข่งขันในเดือนสิงหาคม-กันยายนของทุกปีที่ประเทศสหรัฐอเมริกา

พื้นผิวสนาม (Surface) ที่ใช้แข่งขันเทนนิสหรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่าสนาม (Court) ในปัจจุบันมีการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ให้มีคุณภาพและสภาพที่แตกต่างกัน ซึ่งการแข่งขันรายการของเอทีพี เวิลด์ ทัวร์ (Association of Tennis Professionals World Tour; ATP World Tour) ของนักกีฬาเทนนิสอาชีพชาย และดับเบิลยูทีเอ ทัวร์ (Women's Tennis Association Tour; WTA Tour) ของนักกีฬาเทนนิสอาชีพหญิงมีการแข่งขันตลอดทั้งปี นักกีฬาเทนนิสอาชีพต้องมีโอกาสได้เล่นในสนามครบทั้ง 4 สนามอย่างแน่นอน พื้นผิวสนามเทนนิสสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ สนามพื้นแข็ง (Hard Court), สนามพื้นดิน (Clay Court), สนามพื้นหญ้า (Grass Court) และสนามพรม (Carpet Court) ดูภาพประกอบ 3



ภาพประกอบ 3 พื้นผิวสนามเทนนิส (Tennis Court Surface)

ที่มา: <https://i.ytimg.com/vi/UEDQgEhJE9k/maxresdefault.jpg>

สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564

### 3.1 สนามพื้นแข็ง (Hard Court)

สนามเทนนิสพื้นแข็งเป็นสนามที่พบมากที่สุดมีอยู่ทั่วโลก เนื่องด้วยการก่อสร้างค่อนข้างถูกเมื่อเทียบกับสนามแบบอื่น ๆ มีความทนทาน การดูแลบำรุงรักษาทำได้ง่าย ปัญหาที่อาจเกิดขึ้นกับสนามแบบพื้นแข็งคือ การแตกร้าวของพื้นผิวสนามหลังการใช้งาน 3-5 ปี พื้นสนามทำจากวัสดุหลากหลายเช่น ยางแอสฟัลท์ (Asphalt) คอนกรีต (Concrete) ซีเมนต์ (Cement) หรือวัสดุอื่น ๆ ที่ทำให้พื้นเรียบและแข็งแรง ในปัจจุบันมักทาสีอะคริลิก (Acrylic) หรือพ่นทับด้วยสีอะคริลิกผสมเม็ดทราย วัสดุที่ใช้ทำพื้นสนามเทนนิสประเภทนี้จะใช้วัสดุพิเศษผสมลงไปในส่วนตอนการทำพื้นผิวและชั้นสีเพื่อความสวยงามและยืดอายุการใช้งาน นอกจากนี้ความเร็วของบอลสามารถปรับลดได้โดยการปรับปริมาณส่วนผสมของเม็ดทรายที่ใช้ในส่วนตอนการลงสีเคลือบพื้นผิวสนาม (ดูภาพประกอบ 3) สนามแข่งขันรายการออสเตรเลีย โอเพ่น วัสดุที่ใช้เป็นซินเทติก ฮาร์ดคอร์ท ( Synthetic Hard Court ) ส่วนสนามแข่งขันรายการยูเอส โอเพ่น วัสดุที่ใช้เป็นอะคริลิก ฮาร์ดคอร์ท ( Acrylic Hard Court ) ดูภาพประกอบ 4 และ 5



ภาพประกอบ 4 สนามเทนนิสพื้นแข็ง (Hard Court) Australian Open

ที่มา: <https://static.thairath.co.th/media/.jpg> สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2564

วัสดุที่ใช้ทำพื้นผิวสนามพื้นแข็ง ทำมาจากอะคริลิก เรซิน และซิลิกา ปูบนฐานราก ยางมะตอยหรือคอนกรีต ลักษณะทางกายภาพของสนามพื้นแข็งที่ส่งผลต่อการเล่นเทนนิสคือ รองรับแรงกระแทกได้ดี ความเร็วในการกระดอนของลูกบอลปานกลางถึงช้า โดยเริ่มแรกใช้แบรนด์ Rebound Ace ซึ่งรองรับแรงกระแทกได้ดีจากองค์ประกอบของโพลียูรีเทนไฟเบอร์กลาสและวัสดุอื่น ๆ บนฐานคอนกรีตกลายเป็นฮาร์ดคอร์ทที่มีความเร็วลูกมากที่สุด อย่างไรก็ตามวัสดุดังกล่าวกลับไม่ทนทานต่อสภาพอากาศที่ร้อนจัดของประเทศออสเตรเลีย ทำให้นักเทนนิสร้องเรียนเรื่องพื้นผิวที่มีความหนืดหลังเจอกับอุณหภูมิสูงของเมืองเมลเบิร์น ประเทศออสเตรเลีย ส่งผลให้ฝ่ายจัดการแข่งขันเปลี่ยนมาใช้ Plexicushion ซึ่งเป็นการผสมผสานกันระหว่างน้ำยาง ยางและพลาสติก โดยมีส่วนผสมหลักเป็นอะคริลิก ตั้งแต่ปี 2008 เป็นต้นมา อย่างไรก็ตามการแข่งขันออสเตรเลีย โอเพ่น ในปี 2020 ฝ่ายจัดการแข่งขันได้ตัดสินใจเซ็นสัญญากับแบรนด์ Green Set ซึ่งมีองค์ประกอบใกล้เคียง Plexicushion คือมีอะคริลิกเป็นหลักผสมด้วยซิลิกาโดยยังคงเอกลักษณ์คอร์ทสีฟ้าเอาไว้ ขณะที่ความเร็วของลูกจะช้าลงเล็กน้อยแต่ก็ยังเร็วกว่าคอร์ทดิน และมีการกระดอนของบอลที่สูงกว่า (Stadium, 2563)



ภาพประกอบ 5 สนามเทนนิสพื้นแข็ง US Open

ที่มา: <https://sportdesk.co/wp-content/uploads/2020/06/USOP.jpg>

สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2564

ลักษณะทางกายภาพของสนามพื้นแข็งที่ส่งผลต่อการเล่นเทนนิส คือ ความเร็วลูกปานกลาง ลดอาการบาดเจ็บของผู้เล่น (Stadium, 2563)

### 3.2 สนามพื้นดิน (Clay Court)

สนามเทนนิสพื้นดิน คือสนามที่ทำจากวัสดุชนิดพิเศษประกอบด้วยอิฐ หิน บดละเอียดที่คัดแยกขนาดมาเป็นอย่างดีมีการผสมทรายและโคลนเพื่อให้ได้ดัชนีความเหนียวที่มีค่าประมาณ 12-20 เปอร์เซ็นต์ตามมาตรฐาน สาเหตุที่ไม่สามารถใช้ดินแท้ 100 เปอร์เซ็นต์เพราะเวลามีน้ำหรือฝนตกหนักจะทำให้พื้นสนามเปียกแฉะและใช้เวลาานประมาณ 2-3 วัน กว่าที่พื้นสนามจะแห้ง (ภัทรวรรณ คหะวงศ์, 2547) ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสนามพื้นดินค่อนข้างสูงกว่าสนามประเภทอื่น ๆ การดูแลรักษาก็ทำได้ยากกว่าเพราะต้องมีการฉีดน้ำเป็นระยะ ๆ ทั้งก่อนการแข่งขัน ระหว่างการแข่งขันในแต่ละเซต และหลังการเล่นต้องมีการบดอัดเพื่อปรับสภาพพื้นผิวให้เรียบสม่ำเสมอ ระบบระบายน้ำก็เป็นปัจจัยสำคัญเพื่อให้สนามอยู่ในสภาพพร้อมใช้งานตลอดเวลา สนามพื้นดินยังแบ่งเป็น 2 ชนิดที่แตกต่างกัน คือ สนามพื้นดินสีแดงนิยมใช้ในทวีปยุโรปและอเมริกาเหนือ ซึ่งมีคุณสมบัติไม่ดูดซับน้ำง่ายและสนามพื้นดินสีเขียวที่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก

ส่วนมากจะใช้ในสหรัฐอเมริกา เรียกว่า อเมริกันเคลย์ (American Clay) ซึ่งสนามจะมีคุณสมบัติที่ แข็งกว่าและกระดอนของบอลจะเร็วกว่า รูปภาพประกอบ 6



ภาพประกอบ 6 สนามเทนนิสพื้นดิน (Clay Court)

ที่มา: <http://topicstock.pantip.com/.jpg> สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2564

ลักษณะทางกายภาพของสนามพื้นดินที่ส่งผลต่อการเล่นเทนนิส คือความเร็วของ บอลจะช้า เนื่องจากกระดอนสูงและเสียความเร็วเมื่อลูกตกกระทบพื้น ดังนั้นจึงเป็นเรื่องยากที่จะตี ลูกวินเนอร์ (Winner) เพราะผู้เล่นมีเวลาในการตั้งรับมากกว่าเดิม คอร์ทดินจึงเหมาะกับผู้เล่นที่ เน้นเกมรับอาศัยการตีลูกท็อปปสปิน (Top Spin) และมีร่างกายที่แข็งแรงเพราะต้องตีได้กันอย่าง ยาวนานในแต่ละแต้ม ขณะเดียวกันผู้เล่นยังต้องมีทักษะในการสไลด์เท้าที่ดีเพื่อเคลื่อนที่ไปตีบอล เนื่องด้วยสภาพพื้นผิวสนามเป็นดินทำให้ไม่สามารถวิ่งแล้วหยุดเหมือนอย่างฮาร์ดคอร์ทและ คอร์ทหญ้าได้ ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้นักกีฬาที่ประสบความสำเร็จและยังคงเป็นมืออันดับ หนึ่งบนคอร์ทดินคือ ราฟาเอล นาดาล เจ้าของแชมป์ เฟรนช์ โอเพ่น 13 สมัย และแชมป์บน คอร์ทดิน 60 รายการมากที่สุดในประวัติศาสตร์ (Stadium, 2563)

### 3.3 สนามพื้นหญ้า (Grass Court)

นักกีฬาเทนนิสหลายคนให้ความเห็นตรงกันว่าสนามหญ้าเป็นสนามที่เล่นยากที่สุด โดยทั่วไปหญ้าที่ใช้จะเป็นหญ้าชนิดพิเศษ ลำต้นสั้นและแข็งกว่าหญ้าในสนามกอล์ฟ ซึ่งมีมากในประเทศอังกฤษ ส่วนมากจะใช้หญ้าพันธุ์ที่เรียกว่า “รายกราส (Ryegrass)” ซึ่งมีคุณสมบัติทำให้บอลกระดอนช้ากว่าหญ้าพันธุ์อื่น ๆ คอร์ทหญ้ามีค่าบำรุงและการดูแลรักษาสูงกว่าสนามพื้นแข็งและสนามพื้นดิน ต้องมีการหว่านเมล็ดปลูกใหม่ทุกปี เวลาฝนตกสนามเปียกก็จะค่อนข้างลื่น ดังนั้นเมื่อฝนตกลงมาเจ้าหน้าที่สนามจะต้องรีบเอาผ้าไปคลุมทันที เนื่องจากต้องใช้เวลานานเพื่อรอให้หญ้าแห้งและสามารถแข่งขันต่อไปได้ สนามต้องมีระบบระบายน้ำที่ดีติดตั้งไว้ใต้พื้นสนาม ในขณะเดียวกันต้องมีระบบฉีดน้ำอัตโนมัติที่สามารถรดน้ำในปริมาณที่เหมาะสมทั่วทั้งสนาม สำหรับพื้นสนามด้านบนต้องมีการปรับพื้นสนามบ่อย ๆ เพราะพื้นนุ่มและเสียระดับง่าย (ดูภาพประกอบ 7) การแข่งขันที่ใช้สนามหญ้าคือ รายการวิมเบิลดัน ประเทศอังกฤษ ซึ่งเป็นรายการแข่งขันที่เก่าแก่ที่สุดตั้งแต่ปี ค.ศ. 1877 นอกจากนั้นก็ยังมีการแข่งขันอื่น ๆ อีกเช่น การแข่งขันเทนนิสรายการอาร์ตัว แซมเปียนชิพ (Artois Championship), รายการออร์ดีนา โอเพน (Ordina Open) นักกีฬาเทนนิสระดับโลกที่เป็นที่ยอมรับว่าเล่นได้ดีในสนามลักษณะนี้คือ โรเจอร์ เฟเดอเรอร์, พิต แซมพรัส, ซเตฟี กราฟ และ วินัส วิลเลียมส์ เป็นต้น

ลักษณะทางกายภาพของสนามหญ้าที่ส่งผลต่อการเล่นเทนนิส คือบอลกระดอนต่ำ เนื่องจากพื้นนุ่มกว่าพื้นผิวสนามประเภทอื่น ๆ แต่มีความเร็วมากที่สุด เนื่องจากความลื่นของพื้นผิวสนาม เมื่อลูกบอลกระทบกับพื้นหญ้าจะไม่ค่อยได้รับผลกระทบจากแรงเสียดทาน ลูกเทนนิสเลยเคลื่อนที่ได้เร็วกว่าเดิม ลูกจะลื่นไปกับพื้นผิวสนามส่งผลให้ผู้เล่นต้องก้มตัวต่ำกว่าเดิมเพื่อตีบอล การตีโต้บนคอร์ทหญ้าจะจบลงอย่างรวดเร็ว จังหวะการตีบอลพลิกแพลงสามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ สนามหญ้าที่คุณภาพดีทำให้การกระดอนของลูกเทนนิสคล้ายกับสนามพื้นแข็ง แต่เมื่อเล่นต่อเนื่องเป็นระยะเวลานาน ๆ หญ้าเริ่มเสียทำให้เล่นได้ยากขึ้น พื้นดินด้านล่างที่โดนเหยียบจะเสียระดับไม่คงที่เหมือนสนามพื้นแข็ง ดังนั้นองค์ประกอบสำคัญของนักกีฬาที่จะประสบความสำเร็จจากการเล่นบนสนามหญ้า คือความแม่นยำและความผิดพลาดให้น้อยที่สุด ด้วยเหตุผลดังกล่าวการเล่นบนพื้นสนามหญ้าทำให้เหมาะกับนักกีฬาเทนนิสที่ใช้กลยุทธ์ในการเล่นแบบเสิร์ฟและตามด้วยการเล่นลูกวอลเลย์หน้าตาข่าย เพราะได้ประโยชน์จากความเร็วของลูกเสิร์ฟและจบแต้มด้วยการขึ้นเล่นลูกหน้าตาข่าย (Stadium, 2563)



ภาพประกอบ 7 สนามเทนนิสพื้นหญ้า (Grass Court)

ที่มา: <https://static.siamsport.co.th/files/images/Court%201.jpg>

สืบค้นเมื่อ 18 พฤษภาคม 2564

### 3.4 สนามพื้นพร (Carpet Court)

สนามในลักษณะนี้ไม่มีในการแข่งขันรายการแกรนด์สแลม แต่ใช้ฝึกซ้อมและจัดการแข่งขันได้เฉพาะสนามในร่ม รายการที่ใช้คอร์ทพรการแข่งขัน เช่น บีเอ็นพี ปารีบาส มาสเตอร์ (BNP Paribas Masters) ที่กรุงปารีส ประเทศฝรั่งเศส ด้วยเหตุผลหลักที่สนามพื้นพรได้รับความนิยมในประเทศโซนทวีปยุโรปหรือประเทศเมืองหนาว เนื่องจากช่วงฤดูหิมะ (Snow Season) สนามกลางแจ้งไม่สามารถใช้ออกกำลังกายหรือจัดการแข่งขันได้ จึงจำเป็นต้องสร้างสนามในร่มเพื่อเป็นสนามฝึกซ้อมและใช้ออกกำลังกายสำหรับบุคคลที่รักในกีฬาเทนนิส และให้ใกล้เคียงกับสนามพื้นดินมากที่สุด จึงมีการคิดค้นนวัตกรรมและวัสดุที่ใช้สร้างสนามดังกล่าวขึ้นพื้นสนามเป็นยางหรือวัสดุสังเคราะห์ มีการเติมเม็ดทรายในปริมาณที่เหมาะสมเพื่อให้พื้นสนามลื่นคล้ายกับสนามพื้นดิน การกระดอนของบอลจะควบคุมได้ค่อนข้างแม่นยำคล้ายสนามพื้นแข็ง แต่ความเร็วของบอลคล้ายสนามพื้นหญ้าเพราะคุณสมบัติของพร ภาพประกอบ 8



ภาพประกอบ 8 สนามเทนนิสพื้นพรม (Carpet Court)

ที่มา: <https://www.google.com/types-of-tennis-courts%>

สืบค้นเมื่อ 19 พฤษภาคม 2564

พื้นสนามเทนนิสแต่ละประเภทได้รับการพัฒนาโดยการนำเทคโนโลยีทางการกีฬามาใช้ในผลิตเพื่อเพิ่มคุณภาพ ความคงทนและลดอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับนักกีฬา พื้นสนามต้องแห้งเร็วพร้อมสำหรับการแข่งขันที่ต่อเนื่อง จึงทำให้กีฬาเทนนิสได้รับความนิยมไปทั่วโลกเพราะกีฬาชนิดนี้มีมนต์เสน่ห์ทั้งเกมการแข่งขันที่ตื่นเต้นเร้าใจ การแข่งขันบนพื้นผิวสนามประเภทต่าง ๆ รูปแบบการเล่นของนักกีฬาแต่ละคนที่ต้องปรับเปลี่ยนไปตามสถานการณ์ และมีรายการแข่งขันต่อเนื่องตลอดทั้งปี (Stadium, 2563)

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Fernandez-Fernandez (2011) ศึกษาผลการตอบสนองทางสรีรวิทยากับรูปแบบการวิ่งซ้ำ ๆ ในระหว่างการแข่งขันของนักกีฬาเทนนิส เพื่อเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ (HR) แลคเตทในเลือด (LA) และอัตราการรับรู้ (RPE) ที่มีต่อการตอบสนองการฝึกซ้อมเทนนิส กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเทนนิสที่ผ่านการฝึกฝนมาเป็นอย่างดี จำนวน 8 คน (ชาย 4 คนและหญิง 4 คน) มืออันดับ 1-20 ของประเทศสเปน ผลการวิจัยพบว่าการฝึกในสนามที่ระดับความหนัก 90-95% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดและพัก 90 วินาที เป็นการฝึกหนักสลับเบาเพื่อให้ได้ MHR ในระดับสูงและระดับ LA ที่สูง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบหายใจและไหลเวียนเลือด อีกทั้งเพิ่มความอดทนในการแข่งขันของนักกีฬาเทนนิสด้วย

Reid et al. (2016) ศึกษาความแตกต่างระหว่างนักเทนนิสชายและหญิงที่ลงแข่งขันในรายการ Australian Open ระหว่างปี 2012–2014 กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิส 197 คน (ชาย = 102 คน, หญิง = 95 คน) ผลการวิจัยพบว่าทักษะและการเคลื่อนที่ของนักกีฬาเพศชายและเพศหญิงแตกต่างกัน เฉลี่ยแล้วนักกีฬาเทนนิสชายเคลื่อนที่ประมาณ 572 เมตรต่อเซต ตลอดทั้งแมตช์การแข่งขันระยะทางประมาณ 2,110 เมตร ส่วนนักกีฬาเทนนิสหญิงมีการเคลื่อนที่ประมาณ 553 เมตรต่อเซต ตลอดทั้งแมตช์การแข่งขันระยะทางประมาณ 1,232 เมตร

Janák et al. (2019) ศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์ลักษณะเกมของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนในการแข่งขันเทนนิสเยาวชนโลกรอบสุดท้าย (World Junior Tennis Final) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนเพศชาย จำนวน 4 คน จากการเข้าแข่งขันในรายการ World Junior Tennis Finals 2017 (WJTF) ประเทศเช็ก (Czech Republic) ผลการศึกษพบว่าลักษณะเกมการแข่งขันระหว่างผู้ที่ชนะกับผู้แพ้แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย ซึ่งทักษะการเสิร์ฟในรายการของนักกีฬาเทนนิสอาชีพจะมีผลต่อการแข่งขันสูงมาก เช่นในรายการแข่งขัน Roland Garros 2017 รอบชิงชนะเลิศ มีความแตกต่างอย่างมากระหว่างผู้ชนะและผู้แพ้ในแต้มบอลเสิร์ฟและรีเทิร์นเสิร์ฟ

Meckel et al. (2015) ศึกษาวิจัยเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางกายภาพกับการจัดอันดับในนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเทนนิสเพศชาย จำนวน 40 คน มืออันดับ 1-40 ของประเทศอินเดีย มีอายุเฉลี่ย 15 ปี มีประสบการณ์ในการเล่นเทนนิส 4-6 ปี และฝึกซ้อม 4-5 วันต่อสัปดาห์ (วันละ 2 ชม.) ผลการวิจัยพบว่า ความสัมพันธ์ที่เป็นบวกระหว่างอันดับของผู้เล่นคือเวลาในการวิ่งระยะ 10 เมตร, การวิ่งระยะ 20 เมตร, การทดสอบ Box Drill และ

การทดสอบ Spider Run และความสัมพันธ์ที่เป็นลบ คือการทดสอบ Ball Toss, 20 m Shuttle Run Test, Sit and Reach Test

Fernandez-Fernandez et al. (2014) ได้สร้างเกณฑ์มาตรฐานเพื่อประเมินผล การทดสอบสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงสำหรับนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน โดยสหพันธ์ เทนนิสนานาชาติ กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสทั้งเพศชายและเพศหญิง แบ่งตามช่วงอายุไม่ เกิน 12 ปี, ไม่เกิน 14 ปี, ไม่เกิน 16 ปี และไม่เกิน 18 ปี ผลการวิจัยสามารถนำมาใช้เป็นเกณฑ์การ ทดสอบสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนตามช่วงอายุ

Baiget et al. (2014) ศึกษาวิจัยเพื่อสร้างแบบทดสอบความอดทนที่เฉพาะเจาะจง สำหรับนักกีฬาเทนนิสระดับแข่งขัน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสระดับแข่งขัน จำนวน 38 คน แบ่งเป็น 4 กลุ่ม ผลการวิจัยพบว่าค่า Ventilatory Thresholds (VT) กับ Technical Effectiveness (TE) เป็นตัวทำนายระดับการแข่งขันของนักกีฬาเทนนิสได้

Rodríguez and Del Valle (2018) ศึกษาวิจัยเพื่อรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ ความสำคัญของการฝึกหนักสลับเบาที่เฉพาะเจาะจง (High-Intensity Specific Intermittent Training) ซึ่งสรุปได้ว่า 1) การฝึกซ้อมแบบ High-intensity intermittent training มีความสัมพันธ์ กับพลังระเบิดและความเร็ว 2) การฝึกหนักสลับเบาที่เฉพาะเจาะจงสามารถทำให้การเปลี่ยน ความเร็วและการเปลี่ยนทิศทางทำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น 3) ความเหมาะสมระหว่างเวลาในการฝึก และเวลาในการพัก (Work and Recovery Times) เป็นปัจจัยสำคัญในการเพิ่มโหลดหรือปรับ โปรแกรมการฝึกซ้อม

Björklund et al. (2020) ศึกษาการเผาผลาญพลังงานและการใช้ออกซิเจนสูงสุดระหว่าง การฝึกซ้อมเทนนิสในสนาม กลุ่มตัวอย่างเป็นนักเทนนิสเพศชาย จำนวน 5 คน เพศหญิง จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นเยาวชนทีมชาติของประเทศสวีเดน นักกีฬาทุกคนถนัดมือขวาและตีลูกหลังมือกระดอน พื้นแบบ 2 มือ เคยลงแข่งขันเทนนิสมาแล้ว 100-120 แมตช์การแข่งขัน ผลการวิจัยพบว่าการใช้ พลังงานจากการฝึกซ้อมในสนามสูงกว่ากีฬาประเภทที่มีการวิ่งทางตรง 2-3 เท่า มีความต้องการ ออกซิเจนสูงสุดมากกว่า 40 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที จึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่าการฝึกเทนนิส บนพื้นสนามควรเน้นการฝึกแบบหนักสลับเบาที่เฉพาะเจาะจงในกีฬาเทนนิส (Specific High Intensity Interval Training.)

Bekraoui et al. (2012) ได้เปรียบเทียบปริมาณการใช้ออกซิเจนและการตอบสนองของ อัตราการเต้นของหัวใจที่มีต่อการฝึกซ้อม 6 แบบ บนพื้นสนามเทนนิส กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬา เทนนิสมือขวามืออันดับต้น ๆ ของประเทศฝรั่งเศส อายุระหว่าง 39-44 ปี จำนวน 12 คน (ชาย 5 คน,

หญิง 7 คน) และใช้ทักษะการตีบอลกระดอนพื้นด้านหลังมือแบบสองมือ ผลการวิจัยพบว่า ปริมาณการใช้ออกซิเจนอยู่ระหว่าง 27-45 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที และอัตราการเต้นของหัวใจอยู่ระหว่าง 162-180 ครั้ง/นาที

Kovacs (2007) เขียนบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสรีรวิทยาในนักกีฬาเทนนิส การฝึกซ้อมเพื่อการแข่งขัน โดยมีข้อมูลที่แสดงให้เห็นวิวัฒนาการของกีฬาเทนนิสตั้งแต่สมัยก่อนจนถึงปัจจุบัน ความเร็วในการเสิร์ฟเทนนิสสูงสุด 210 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สัดส่วนการทำงานต่อการพักอยู่ระหว่าง 1:3-1:5 และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด ระหว่าง 50-70 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที อีกทั้งการศึกษาระบบพลังงานในนักกีฬาเทนนิสขณะแข่งขัน ซึ่งต้องการความสมดุลของความสามารถของการใช้พลังงานแบบแอนแอโรบิกและแบบแอโรบิก สำหรับการแข่งขันเทนนิสนั้น ค่าเฉลี่ยของระดับความหนักที่เกิดขึ้นประมาณ 50-60% ของการใช้ออกซิเจนสูงสุด หรือ 60-80% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด

Landlinger et al. (2010) ศึกษาความแตกต่างทางจลนศาสตร์ของนักเทนนิสชั้นเลิศ และนักเทนนิสที่มีประสิทธิภาพสูงในการตีบอลกระดอนพื้นด้านหน้ามือทิศทางทแยงและทิศทางตรง (Forehand Cross Court and Down the Line) กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสชั้นเลิศเพศชาย จำนวน 6 คน และนักเทนนิสที่มีความสามารถสูง จำนวน 7 คน ใช้การวิเคราะห์ 3 มิติ (Vicon Motion Analysis System) โดยการติดตั้งกล้อง จำนวน 8 ตัว ผลการวิจัยพบว่า นักกีฬากลุ่มชั้นเลิศสามารถเพิ่มความเร็วของแร็กเก็ตได้มากกว่าในตำแหน่งจุดกระทบบอล และไม่พบความแตกต่างของตำแหน่งสะโพก และตำแหน่งหัวไหล่เมื่อสิ้นสุดการเหวี่ยงไม้ไปทางด้านหลัง

Elliott (2006) ได้รวบรวมบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับชีวกลศาสตร์และกีฬาเทนนิส โดยกล่าวว่าการประสบความสำเร็จในการเล่นกีฬาเทนนิสนั้นต้องอาศัยปัจจัยสำคัญหลาย ๆ อย่าง เช่น ความสามารถของผู้เล่น การฝึกซ้อมที่ดี อุปกรณ์ในการฝึกซ้อมที่เหมาะสม และความรู้ความเข้าใจทางด้านวิทยาศาสตร์การกีฬาที่เกี่ยวข้องกับกีฬาเทนนิส งานวิจัยชิ้นนี้ได้สรุปบทบาทที่สำคัญของชีวกลศาสตร์ทางการกีฬากับการพัฒนานักกีฬาเทนนิส การใช้วิทยาศาสตร์การกีฬาและเวชศาสตร์การกีฬา ผู้วิจัยได้อธิบายหลักการทางชีวกลศาสตร์สำคัญ ๆ ที่ใช้พัฒนาทักษะการเสิร์ฟ (Service) การรีเทิร์นลูกเสิร์ฟ (Service Return) การตีลูกกระดอนพื้น (Groundstroke) ทั้งด้านหน้ามือและด้านหลังมือ และการเล่นลูกกลางอากาศ (Volley) เป็นต้น

Fernandez et al. (2006) ได้รวบรวมบทความทางวิชาการและเรียงเรียงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับระดับความหนักในการเล่นเทนนิส งานวิจัยนี้ให้ข้อมูลลักษณะของนักเทนนิสระหว่างการแข่งขันและความต้องการใช้พลังงานของนักกีฬาเทนนิส ซึ่งการแข่งขันเทนนิสมักจะใช้

ระยะเวลาที่ยาวนานกว่า 1 ชั่วโมงและในบางรายการมีผู้เล่นใช้เวลามากกว่า 5 ชั่วโมง กิจกรรมที่ใช้จึงมีระดับความหนักตั้งแต่ปานกลางถึงระดับสูงสุดแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับระดับของผู้เล่น รูปแบบการเล่นและเพศ นอกจากนี้ยังมีอิทธิพลจากปัจจัยอื่น ๆ เช่น พื้นผิวสนาม ประเภทการแข่งขันทั้งประเภทเดี่ยว ประเภทคู่ หรือประเภทคู่ผสม และอัตราส่วนการทำงานต่อการพักระหว่างแต้ม (Work to Rest Ratios) โดยพบว่าระดับการทำงานของหัวใจอยู่ที่ 60–80% ของปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 140-160 ครั้งต่อนาที และอาจเต้นเร็วถึง 190-200 ครั้งต่อนาทีสำหรับแต้มที่มีการตีได้นาน ๆ และการตีบอลมีความเร็วสูง ปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดสำหรับนักกีฬาเทนนิสหญิง เท่ากับ 45 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที และ 55 มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที สำหรับนักกีฬาเทนนิสชาย และปริมาณของกรดแลคติกของนักกีฬาเทนนิสระหว่างการแข่งขันโดยเฉลี่ยจะเท่ากับ 1.8-2.8 มิลลิโมลต่อลิตร และยังพบอีกว่าพื้นสนามที่เป็นพื้นดิน (Clay Court) ค่าตัวแปรตามเหล่านี้มีค่าสูงกว่าสนามพื้นแข็ง (Hard Court)

Fernandez-Fernandez et al. (2008) ได้ศึกษาเกมการแข่งขันเทนนิสและการตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักกีฬาเทนนิสหญิงเพื่อความเป็นเลิศที่แข่งขันบนพื้นสนามดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดกิจกรรมการแข่งขันและความต้องการทางสรีรวิทยาของเทนนิสหญิงในระหว่างการแข่งขัน 3 วันบนสนามพื้นดิน ผลการศึกษาพบว่าจำนวนครั้งในการตีได้ระหว่างแต้ม เท่ากับ  $2.5 \pm 1.6$  ครั้ง ใช้เวลาประมาณ  $7.2 \pm 5.2$  วินาทีต่อแต้ม ระยะเวลาในการพักระหว่างแต้มเท่ากับ  $15.5 \pm 7.3$  วินาที อัตราส่วนระหว่างงานต่อการพัก เท่ากับ 1:2.1 ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือด เท่ากับ  $2.2 \pm 0.9$  มิลลิโมลต่อลิตร และความเหนื่อยล้าสัมพัทธ์ (RPE)  $12.2 \pm 2.4$  สำหรับเกมเซิร์ฟ และ  $12 \pm 2.3$  สำหรับเกมรีเทิร์นเซิร์ฟ ซึ่งไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้วิจัยได้เสนอให้นำข้อมูลดังกล่าวมาพิจารณาเพื่อวางแผนกลยุทธ์การฝึกซ้อมที่เฉพาะเจาะจงกับความต้องการทางสรีรวิทยาในการเล่นบนสนามพื้นดินสำหรับนักกีฬาเทนนิสหญิง

Murias et al. (2007) ได้ศึกษาการเผาผลาญพลังงานและการตอบสนองการทำงานของนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนพื้นสนามที่แตกต่างกัน โดยวัตถุประสงค์ของการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบการเผาผลาญพลังงานและการตอบสนองการทำงานของนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนสนามพื้นดินและสนามพื้นแข็ง โดยจัดการแข่งขันประเภทชายเดี่ยว จำนวน 12 แมตช์การแข่งขัน แบ่งเป็นการแข่งขันบนสนามพื้นดิน 6 ครั้งและการแข่งขันบนสนามพื้นแข็ง 6 ครั้ง ซึ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีมืออันดับระดับนานาชาติ (National Ranking) จำนวน 4 คน อายุเฉลี่ย เท่ากับ  $16.9 \pm 0.7$  ปี ส่วนสูงเฉลี่ย เท่ากับ  $181.2 \pm 8.5$  เซนติเมตร น้ำหนักตัวเฉลี่ย เท่ากับ  $72.2 \pm 9.7$  กิโลกรัม และปริมาณการใช้ออกซิเจนสูงสุดเท่ากับ  $55.5 \pm 2.3$  มิลลิลิตร/กิโลกรัม/นาที ผลการ

ศึกษาพบว่าระยะทางตลอดทั้งเกมการแข่งขัน พื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดินนักกีฬาเคลื่อนที่ด้วยระยะทางเฉลี่ยไกลกว่าสนามเทนนิสแบบพื้นแข็ง ( $1,447 \pm 143$  เมตร และ  $1,199 \pm 168$  เมตร ตามลำดับ) เช่นเดียวกับระยะทางรวมต่อแต้มสนามพื้นดินนักกีฬาเทนนิสเคลื่อนที่ไกลกว่าสนามพื้นแข็ง ( $11.6 \pm 1.5$  เมตรและ  $9.3 \pm 1.8$  เมตร ตามลำดับ) ส่วนอัตราการเต้นของหัวใจและปริมาณกรดแลคติกในนักกีฬา พบว่าสนามพื้นดินสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างกันของปริมาณการใช้ออกซิเจนทั้งสองพื้นผิวสนาม

Smekal et al. (2001) ได้ศึกษาวิจัยเรื่องข้อมูลทางสรีรวิทยาของการแข่งขันเทนนิส โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบข้อมูลทางสรีรวิทยาการแข่งขันเทนนิสประเภทชายเดี่ยว จำนวน 10 แมตช์การแข่งขัน กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิสเพศชาย จำนวน 20 คน มีอายุเฉลี่ย  $26 \pm 3.7$  ปี ส่วนสูงเฉลี่ย  $181 \pm 5.7$  เซนติเมตร และน้ำหนักตัวเฉลี่ย  $73.2 \pm 6.8$  กิโลกรัม โดยศึกษาเปรียบเทียบรูปแบบการเล่นที่เป็นฝ่ายรุก (Offensive Players) และฝ่ายรับ (Defensive Players) ผลการวิจัยพบว่าผู้เล่นที่เป็นฝ่ายตั้งรับจะมีค่าปริมาณการใช้ออกซิเจน อัตราการเต้นของหัวใจ และระดับของกรดแลคติกสูงกว่าผู้เล่นฝ่ายรุกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่พบความแตกต่างกันของเกมเสิร์ฟ (Service Games) และเกมรีเทิร์นเสิร์ฟ (Return Games)

Fernandez-Fernandez et al. (2009) ได้ทบทวนวรรณกรรม และเรียบเรียงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับความต้องการทางสรีรวิทยาในนักกีฬาเทนนิสที่ลงทำการแข่งขันในรายการต่าง ๆ วัตถุประสงค์ของงานชิ้นนี้คือการให้ข้อมูลเชิงลึก และความรู้ความเข้าใจทางกายภาพและสรีรวิทยาทางการกีฬา การตอบสนองทางสรีรวิทยาในนักกีฬาเทนนิสขณะการแข่งขันเทนนิสบนพื้นผิวสนามที่แตกต่างกัน ทั้งสนามพื้นแข็ง สนามพื้นหญ้า และสนามพื้นดิน กิจกรรมการออกกำลังกายของกีฬาเทนนิสเป็นแบบหนักสลับเบา (Intermittent Exercise) ด้วยเกมการเล่นในแต่ละแต้มอาจใช้ระยะเวลาสั้น (4-10 วินาที) และระยะเวลานานในการตีได้ (60-90 วินาที) ระยะเวลารวมทั้งแมตช์การแข่งขันระหว่าง 1-5 ชั่วโมง (Australian Open 2009 ชายเดี่ยวรอบชิงชนะเลิศ 4 ชั่วโมง 23 นาที) ยังพบข้อมูลที่ผู้วิจัยรวบรวมไว้เพื่อชี้ให้เห็นผลกระทบจากการแข่งขันที่พื้นสนามมีความแตกต่างกันว่า ความเร็วของบอลจากการกระดอนบนสนามพื้นดินจะช้ากว่าสนามพื้นแข็ง เนื่องจากสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (Coefficient of Friction) ระหว่างลูกเทนนิสในการตกกระดอนกับพื้นสนามสูง จึงส่งผลให้จำนวนการตีได้เพิ่มขึ้นนักกีฬาจึงต้องใช้ความอดทนของกล้ามเนื้อและระบบหายใจและไหลเวียนเลือดสูงขึ้นด้วย

Skene (2013) ศึกษาเรื่องผลกระทบของแรงปฏิกิริยาจากพื้นและคิเนแมติกส์ของข้อต่อในการเลิฟเทนนิสของนักกีฬาเทนนิสมหาวิทยาลัย จุดมุ่งหมายของการศึกษาคือตรวจสอบแรงปฏิกิริยาจากพื้นและคิเนแมติกส์ของข้อต่อที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของการเลิฟในนักกีฬาการศึกษาข้อมูลแบบสามมิติถูกสร้างขึ้นใหม่โดยวิธีการแปลงข้อมูลเชิงเส้นตรง (DLT) และทำการเลิฟแบบแฟลตในนักกีฬาระดับมหาวิทยาลัยเพศชาย จำนวน 8 คน บันทึกข้อมูลจากกล้องสองตัวที่วางไว้ทางด้านข้างที่ความถี่ 50 เฮิร์ตซ์ ข้อมูลของแรงปฏิกิริยาพื้น (GRF) ถูกรวบรวมโดยใช้แผ่นวัดแรง (Kistler 5233A) ที่ความถี่ 1,000 เฮิร์ตซ์ ผลการศึกษาพบว่า ความเร็วของหัวไม้เทนนิสเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 31.06 เมตรต่อวินาที และความเร็วของลูกเทนนิสมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 36.14 เมตรต่อวินาที

อนุชิต เรือนก้อน (2552) ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างมุมการเอนตัวขณะเลิฟกับความเร็วของลูกเทนนิส กลุ่มตัวอย่างได้มาโดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจงจากนักกีฬาเทนนิสเยาวชนเพศชาย อายุระหว่าง 16-18 ปี มีคะแนนสะสมในอันดับที่ 1-15 จากการจัดลำดับของลอนเทนนิสสมาคมแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ จำนวน 10 คน กลุ่มตัวอย่างเลิฟแบบแฟลต จำนวน 10 บอล และถูกบันทึกด้วยกล้อง จำนวน 2 ตัวเพื่อวิเคราะห์การเคลื่อนไหวแบบ 3 มิติ ความถี่ในการบันทึกภาพถูกตั้งไว้ที่ 60 ภาพต่อวินาที ความเร็วของลูกเทนนิสวัดด้วยเครื่องตรวจวัดความเร็วแบบเรดาร์ มุมของข้อต่อ ความเร็วเชิงมุม ความเร็วเชิงเส้น และความเร็วลูกเทนนิสที่บันทึกได้ถูกนำมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์เชิงเส้นโค้ง (Curve Estimation) ผลการวิจัยพบว่าความเร็วของลูกเทนนิสและไม้เทนนิสมีความสัมพันธ์กับมุมของการงอเข่าต่ำสุดในขณะเงี้ยวไม้ไปทางด้านหลังอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

Fett et al., (2020) ทำการศึกษาผลกระทบของสมรรถภาพทางกาย และลักษณะทางมานุษยวิทยาต่อความเร็วของการเลิฟในนักเทนนิสเยาวชนมืออาชีพ กลุ่มตัวอย่างจำนวน 1,019 คน ประกอบด้วยผู้ชายจำนวน 625 คนและผู้หญิงจำนวน 394 คน เป็นนักเทนนิสระดับเยาวชนของสหพันธ์เทนนิสเยอรมัน ผลการศึกษาพบว่าความเร็วในการเลิฟขึ้นอยู่กับความสามารถและลักษณะทางกายวิภาคศาสตร์ แต่ก็ขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นด้วย เช่นองค์ประกอบทางเทคนิค กำลังและความแข็งแรงของร่างกายส่วนบนที่มีความสำคัญต่อการเลิฟในนักกีฬาเยาวชน โดยเฉพาะนักกีฬาที่มีส่วนสูงและช่วงแขนของร่างกายที่มากกว่า ซึ่งเป็นข้อดีทางชีวกลศาสตร์ ในขณะที่กำลังของร่างกายส่วนล่างมีความสำคัญน้อยกว่า

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงทำให้ผู้วิจัยสนใจและต้องการศึกษาการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน

### บทที่ 3

## วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ดำเนินงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย
3. วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การจัดกระทำและวิเคราะห์ข้อมูล

#### การกำหนดประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

##### ประชากรที่ใช้ในการวิจัย

นักกีฬาเทนนิสเยาวชนชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี ซึ่งเคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี (ระหว่างปี 2560-2565) หรือรับรองโดยสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์

##### กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย

เป็นนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนชาย อายุ 14-16 ปี ที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันรายการชิงแชมป์ประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี (ระหว่างปี 2560-2565) หรือรับรองโดยสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ การคำนวณกลุ่มตัวอย่างจากโปรแกรม G\*Power รุ่น 3.1.96 โดยนำค่า Effect Size จากงานวิจัยที่มีการศึกษาก่อนหน้านี้ (Kilit & Arslan, 2017) มาดัดแปลงได้กลุ่มตัวอย่างเท่ากับ 16 คน โดยการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Random Sampling) ซึ่งผู้วิจัยใช้กลุ่มตัวอย่างชุดเดียวกันในการศึกษาทั้ง 2 การศึกษา

#### 1. เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัย

- 1.1 เป็นนักกีฬาเทนนิส ชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี
- 1.2 เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี (ระหว่างปี 2560-2565)
- 1.3 นักกีฬามีการฝึกซ้อมมากกว่า 3 ครั้งต่อสัปดาห์ อย่างน้อย 3 เดือน
- 1.4 ไม่มีโรคประจำตัว เช่น โรคหัวใจ โรคหอบหืด
- 1.5 มีความสมัครใจเข้าร่วมในงานวิจัย และยินดียินยอมในการเข้าร่วมงานวิจัย

#### 2. เกณฑ์การคัดกลุ่มตัวอย่างออกจากการวิจัย

- 2.1 เกิดเหตุสุดวิสัยที่ทำให้ไม่สามารถเข้าร่วมการวิจัยต่อได้
- 2.2 ไม่สมัครใจเข้าร่วมการวิจัยต่อ

## เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### การศึกษาที่ 1

1. เครื่องชั่งน้ำหนัก พร้อมเครื่องวัดส่วนสูง เครื่องหมายการค้า Omron รุ่น HBF-224 ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น
2. เครื่องปล่อยบอลอัตโนมัติ เครื่องหมายการค้า Lobster Elite 2 ผลิตจากประเทศออสเตรเลีย
3. กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวความละเอียดสูง เครื่องหมายการค้า Samsung รุ่น HMX-H320BP ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น
4. แบบทดสอบความแม่นยำในการตีเทนนิส (Landlinger et al., 2012)

### การศึกษาที่ 2

1. เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ เครื่องหมายการค้า Polar H10 ผลิตจากประเทศฟินแลนด์
2. กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหวความละเอียดสูง เครื่องหมายการค้า Samsung รุ่น HMX-H320BP ผลิตจากประเทศญี่ปุ่น
3. แบบบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันที่ผู้วิจัยสร้างขึ้น
4. แบบบันทึกคะแนนการแข่งขันเทนนิส (ITF, 2021)

## วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล

### 1. ขั้นตอนการดำเนินการทำวิจัย

- 1.1 ติดต่อบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ เพื่อยื่นหนังสือขอความอนุเคราะห์การขอกลุ่มตัวอย่างและการอำนวยความสะดวกในการใช้สถานที่
- 1.2 ทำหนังสือขออนุญาตการทำวิจัยในมนุษย์ไปยังคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์
- 1.3 ดำเนินการหากกลุ่มตัวอย่าง โดยผู้วิจัยประสานไปยังสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์เพื่อติดต่อนักกีฬาเทนนิสที่มีมืออันดับ 1-20 จากการจัดอันดับและรับรองโดยสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ และขอความร่วมมือไปยังสถาบันสอนเทนนิสดังกล่าวที่นักกีฬาทำการฝึกซ้อมอยู่เป็นประจำ และคัดเลือกนักกีฬาเข้าร่วมการวิจัยจำนวน 16 คน

1.4 จัดเตรียมอุปกรณ์ สถานที่ เอกสารเพื่อใช้ในการวิจัย ชี้แจงรายละเอียดให้กลุ่มตัวอย่างเข้าใจ โดยนักกีฬาทุกคนรับทราบรายละเอียดและการปฏิบัติตนในการทดสอบและการเก็บข้อมูล พร้อมทั้งลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยตามความสมัครใจ

1.5 งานวิจัยนี้กำหนดผู้ช่วยวิจัย (นิสิตคณะพลศึกษา สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย จำนวน 5 คน) เข้ารับการอบรมขั้นตอนของการทดลอง อธิบายวิธีการปฏิบัติแต่ละขั้นตอนของการเก็บข้อมูลให้ผู้ช่วยวิจัยรับทราบตรงกัน

1.6 ผู้เข้าร่วมการวิจัยเริ่มทำการทดสอบตามรูปแบบที่กำหนดไว้

## 2. การออกแบบงานวิจัย

การวิจัยครั้งนี้ได้ผ่านการพิจารณาอนุมัติในด้านจริยธรรมจากคณะกรรมการพิจารณาการศึกษาวิจัยในคนจากมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒให้ดำเนินการวิจัยได้ตามหมายเลขใบรับรอง SWUEC-G- 275/2565E ลงวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2565 สำหรับวิธีการดำเนินการวิจัย ผู้วิจัยจะแบ่งขั้นตอนการวิจัยทั้งหมดออกเป็น 2 ระยะ ซึ่งแต่ละระยะของการศึกษา ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนยินยอมในการเข้าร่วมและทราบถึงวัตถุประสงค์ในการศึกษารวมถึงรายละเอียดของการทดลอง และผู้เข้าร่วมสามารถถอนตัวออกได้ในทุกกรณี

## 3. การเก็บรวบรวมข้อมูล

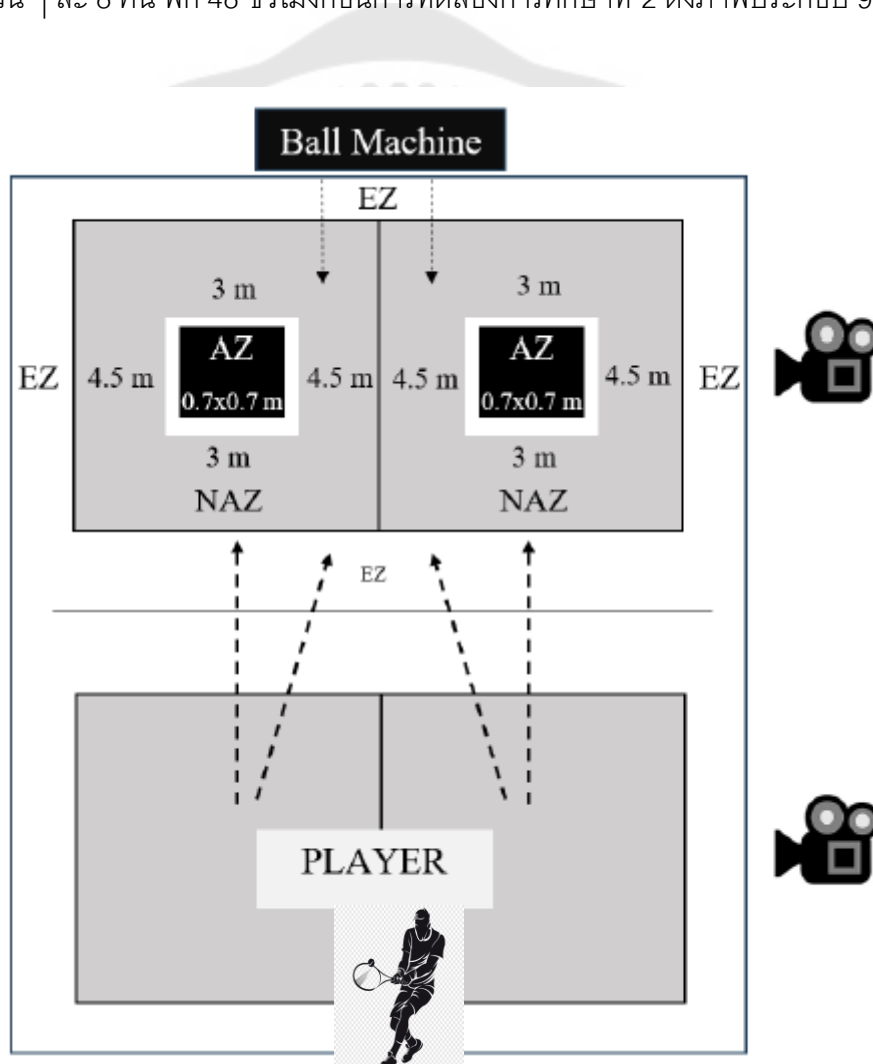
งานวิจัยครั้งนี้ใช้การวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิส เพศชาย อายุ 14-16 ปี ที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือรับรองโดยสมาคมกีฬาลอนเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ จำนวน 16 คน ซึ่งในการเก็บข้อมูลทุกครั้งจะมีผู้ช่วยในการเก็บข้อมูลจำนวน 5 คน สนามเทนนิสพื้นดินเป็นสนามในร่ม กำหนดการเก็บข้อมูลในช่วงเช้า 09.00 – 12.00 น. เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ใกล้เคียงกัน

กลุ่มตัวอย่างงดการฝึกซ้อมหนักอย่างน้อย 48 ชั่วโมง โดยเริ่มทำการทดสอบข้อมูลพื้นฐานตามรายการต่อไปนี้ น้ำหนักตัว ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของชีพจรขณะพัก ก่อนเริ่มการทดลองในการศึกษาที่ 1

การฝึกซ้อมที่ 1 เพื่อทดสอบความแม่นยำจากการตีลูกหน้ามือและลูกหลังมือ ประกอบด้วย

1. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางตรง (Running Forehand Down the Line: RFDL)
2. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางทแยง (Running Forehand Cross Court: RFCC)
3. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางตรง (Running Backhand Down the Line: RBDL)
4. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางทแยง (Running Backhand Cross Court: RBCC)

แต่ละทักษะกลุ่มตัวอย่างทั้ง 16 คน ต้องทำการวิ่งตีบอลจำนวน 10 บอล จากเครื่องยิงบอลอัตโนมัติ ด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด ผู้วิจัยทำการเก็บข้อมูล 2 วัน ๆ ละ 8 คน พัก 48 ชั่วโมงก่อนการทดลองการฝึกซ้อมที่ 2 ดังภาพประกอบ 9

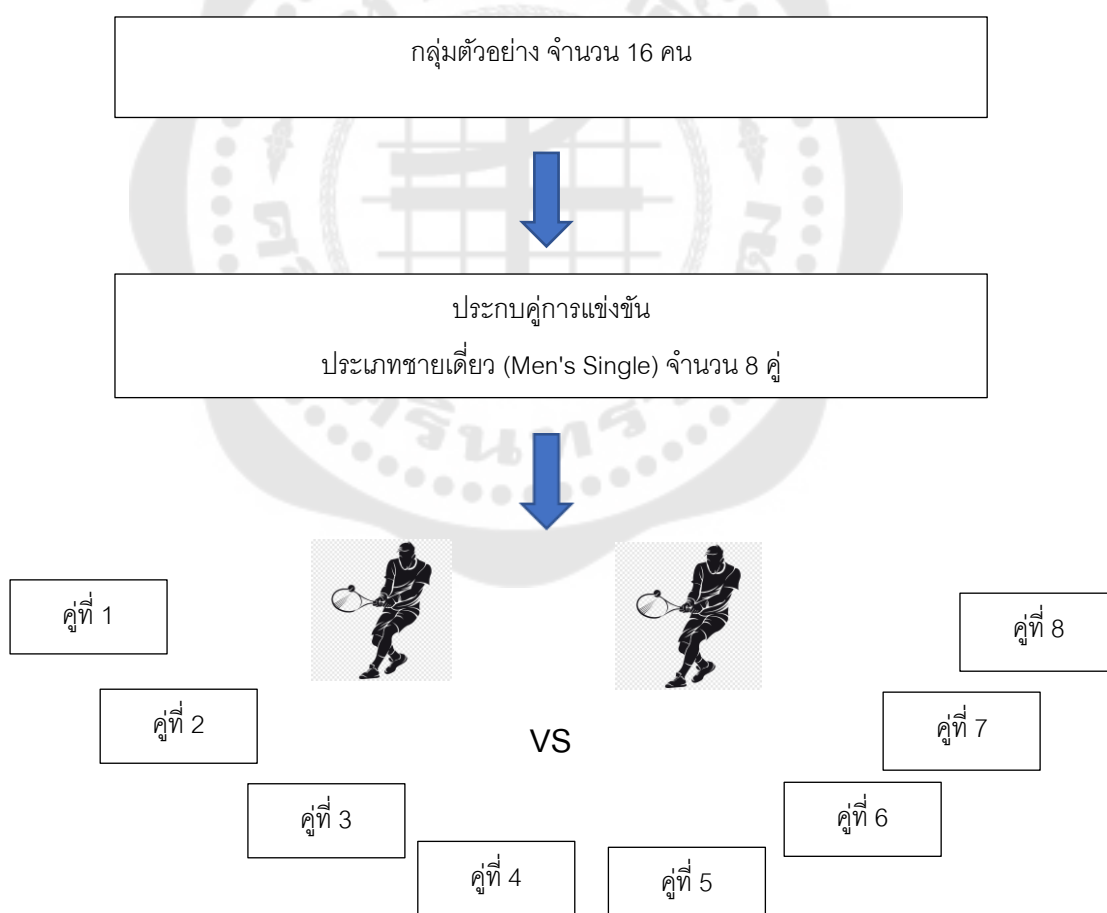


ภาพประกอบ 9 แบบทดสอบความแม่นยำจากการตีบอลกระดอนพื้น

ที่มา: Landlinger et al. (2012)

การศึกษาที่ 2 จำลองการแข่งขันเทนนิสบนสนามพื้นดิน เพื่อต้องการให้นักกีฬาแสดงความสามารถได้อย่างเต็มที่และผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์การแข่งขันจริงมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 1 ผู้วิจัยจำลองการแข่งขันโดยใช้การแข่งขันในระบบ 2:3 เซต ดิวซ์ปกติ ทำการประกบคู่การแข่งขันประเภทชายเดี่ยว จำนวน 8 คู่ (คู่ที่ 1, คู่ที่ 2, ... จนถึง คู่ที่ 8 ตามลำดับ) การแข่งขันคู่แรกเริ่มในเวลา 09.00 น. (ดังภาพประกอบ 10) โดยจัดการแข่งขันให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์แข่งขันจริงมากที่สุด นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้กำหนดรางวัลสำหรับผู้ชนะเพื่อเป็นแรงจูงใจที่จะทำให้นักกีฬาเทนนิสเล่นเต็มความสามารถ ผู้วิจัยจะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการแข่งขัน (Polar H10) และทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวตลอดการแข่งขันด้วยกล้องวิดีโอ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์พื้นที่ในการเล่นของนักกีฬาขณะแข่งขันด้วย



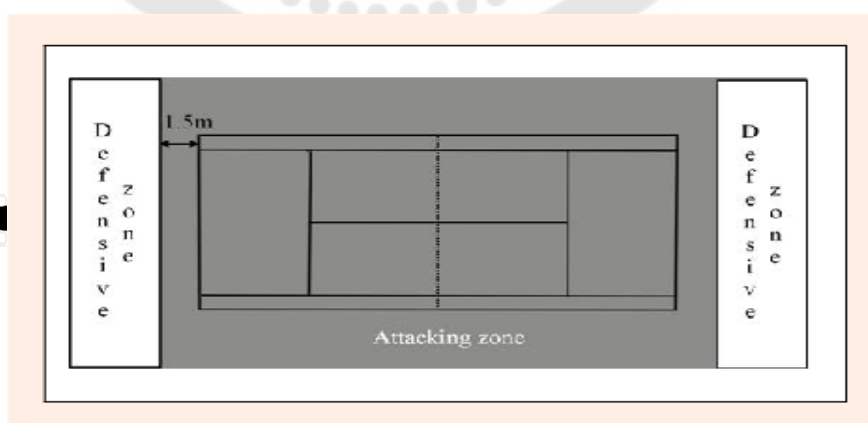
ภาพประกอบ 10 ขั้นตอนการแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

ขั้นตอนที่ 2 บันทึกอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (Maximum Heart Rate) อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย (Average Heart Rate) และการเผาผลาญพลังงาน (Metabolism) ในขณะแข่งขัน โดยบันทึกตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการแข่งขันในแต่ละเซต



ภาพประกอบ 11 ขั้นตอนการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจ

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์พื้นที่ในการเล่น (Tennis Zone) ขณะแข่งขันเทนนิสบนสนามพื้นดิน โดยผู้วิจัยติดตั้งกล้องวิดีโอสำหรับบันทึกการแข่งขันฝั่งละ 1 ตัว รวมทั้งสิ้น 2 ตัว (Klaus et al., 2017) โดยวางไว้มุมสูงทำยาคอร์ตบริเวณกึ่งกลางสนาม ห่างจากเส้นท้ายคอร์ต 3 เมตร และไม่รบกวนการแข่งขันของนักกีฬา ตั้งแต่เริ่มต้นจนถึงสิ้นสุดการแข่งขัน



ภาพประกอบ 12 การติดตั้งกล้องเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ในการเล่น

## การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติที่ใช้ในการวิจัย

### การศึกษาที่ 1

การทำวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงปริมาณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Version 26 (IBM Corporation, 2019) สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

1. หาค่าเฉลี่ย (X) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง (อายุ ส่วนสูง น้ำหนัก และดัชนีมวลกาย)
2. ทดสอบความเป็นปกติในการแจกแจงข้อมูลด้วยสถิติ (Shapiro Wilk Test)
3. วิเคราะห์ค่าความสัมพันธ์ของตัวแปรตามระหว่างทักษะการตีบอลกระดอนพื้นที่ทั้ง 4 ทักษะ (RFDL, RFCC, RBDL และ RBCC) กับความเร็วของบอล ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient) และเปรียบเทียบความเร็วของบอลทั้ง 4 ทักษะด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated Measure)
4. เปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างทักษะการตีบอลกระดอนพื้นที่ทั้ง 4 ทักษะด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA with Repeated Measure)
5. กำหนดค่านัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

### การศึกษาที่ 2

1. เปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (MHR) อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย (AvgHR) การเผาผลาญพลังงาน (Metabolism) และพื้นที่ในการเล่น (Tennis Zone) ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลที่ชนะเลิศและนักกีฬาฟุตซอลที่แพ้ ด้วยวิธีเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (Independent Samples t-test) หากพบความแตกต่างรายคู่จะทดสอบด้วยวิธีของ LSD
2. กำหนดความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

## จริยธรรมการวิจัยในมนุษย์

การศึกษานี้ได้ดำเนินการวิจัยในมนุษย์ตามหลักจริยธรรมสากล ตามข้อบังคับข้อกำหนด รวมถึงปฏิบัติตามกฎหมายทั้งภายในประเทศและระหว่างประเทศ โดยอยู่ภายใต้กรอบปฏิญญาเฮลซิงกิ (Declaration of Helsinki) ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โครงการวิจัยเลขที่ SWUEC-G 275/2565

## บทที่ 4

### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ คือ การศึกษาที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวิ่งตีลูกกระดอนพื้น 4 ทักษะ คือ ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น (Running Forehand Down the Line; RFDL), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง (Running Forehand Cross-Court; RFCC), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (Running Backhand Down the Line; RBDL) และ ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (Running Backhand Cross-Court; RBCC)

การศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ ขณะแข่งขันบนพื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดิน ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป IBM SPSS Statistic Version 26.0. (IBM Corporation, 2019)

#### ข้อมูลพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง

ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่างแสดงดังตาราง 2 ข้อมูลดังกล่าวประกอบด้วย อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง ดัชนีมวลกายและประสบการณ์การแข่งขันรายการชิงแชมป์ประเทศไทยของกลุ่มตัวอย่าง

ตาราง 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

| รายการ                                         | กลุ่มตัวอย่าง (n=16)<br>$\bar{X} \pm SD$ |
|------------------------------------------------|------------------------------------------|
| อายุ (ปี)                                      | 15.50±0.63                               |
| น้ำหนักตัว(กิโลกรัม)                           | 67.25±7.72                               |
| ส่วนสูง (เซนติเมตร)                            | 178.44±8.08                              |
| ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/ตารางเมตร <sup>2</sup> ) | 21.12±1.93                               |
| ประสบการณ์การแข่งขัน (ปี)                      | 3.56±0.51                                |

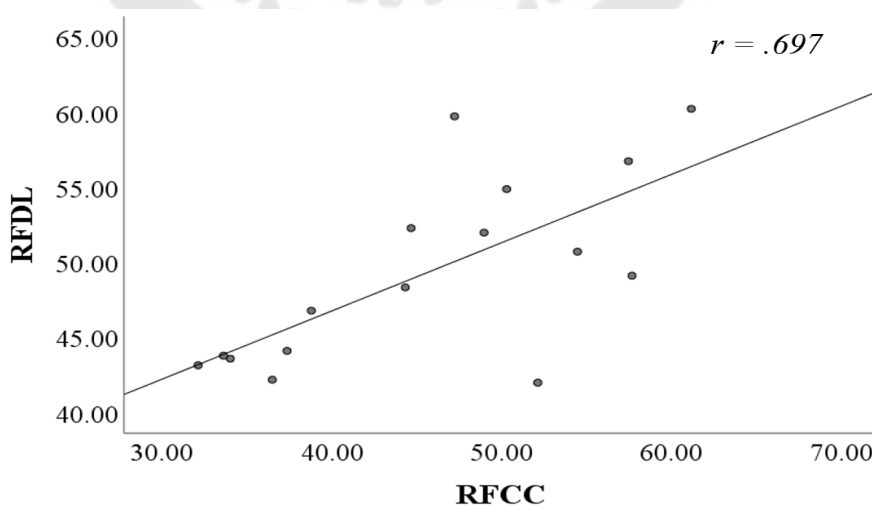
จากตาราง 1 แสดงค่าเฉลี่ยของลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 16 คน มีค่าเฉลี่ยของอายุ เท่ากับ  $15.50 \pm 0.63$  ปี, น้ำหนักตัวเฉลี่ย เท่ากับ  $67.25 \pm 7.72$  กิโลกรัม, ส่วนสูงเฉลี่ย เท่ากับ  $178.44 \pm 8.08$  เซนติเมตร ดัชนีมวลกาย เท่ากับ  $21.12 \pm 1.93$  กิโลกรัม/ตารางเมตร<sup>2</sup> และประสบการณ์การแข่งขันรายการชิงแชมป์ประเทศไทยของกลุ่มตัวอย่าง เท่ากับ  $3.56 \pm 0.51$  ปี

### ผลการศึกษาที่ 1

ตาราง 2 แสดงความสัมพันธ์ของทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้น ด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient)

| Technique | RFDL | RFCC  | RBDL  | RBCC  |
|-----------|------|-------|-------|-------|
| RFDL      | 1    | .697* | -.124 | -.445 |
| RFCC      |      | 1     | -.058 | -.158 |
| RBDL      |      |       | 1     | .228  |
| RBCC      |      |       |       | 1     |

หมายเหตุ \* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$ , RFDL; Running Forehand Down the Line, RFCC; Running Forehand Cross-Court, RBDL; Running Backhand Down the Line และ RBCC; Running Backhand Cross-Court



ภาพประกอบ 13 ความสัมพันธ์ของตัวแปรตามระหว่าง Running Forehand Down the Line (RFDL) กับ Running Forehand Cross-Court (RFCC)

จากตารางที่ 2 พบว่า การวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น (RFDL) และ การวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น (RFDL) มีความสัมพันธ์กันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยความสัมพันธ์เชิงบวกระดับปานกลาง ( $r = .697$ ) (ภาพประกอบ 11) ส่วนทักษะอื่นๆ ไม่มีความสัมพันธ์กัน

ตาราง 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็บอลทั้ง 4 ทักษะ

| ทักษะ | ความเร็ว (เมตร/วินาที)<br>$\bar{X} \pm SD$ |
|-------|--------------------------------------------|
| RFDL  | 49.33 $\pm$ 6.17                           |
| RFCC  | 45.68 $\pm$ 9.46                           |
| RBDL  | 30.99 $\pm$ 2.78                           |
| RBCC  | 33.67 $\pm$ 2.70                           |

หมายเหตุ RFDL; Running Forehand Down the Line, RFCC; Running Forehand Cross-Court, RBDL; Running Backhand Down the Line และ RBCC; Running Backhand Cross-Court

ตาราง 4 แสดงการเปรียบเทียบความเร็วของบอลระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นแต่ละแบบ ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียวแบบวัดซ้ำ (One-Way ANOVA with Repeated Measure)

|       | RFDL                          | RFCC                          | RBDL             | RBCC                          | Between Group<br>(P-value) |
|-------|-------------------------------|-------------------------------|------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Speed | 49.33 $\pm$ 6.17 <sup>#</sup> | 45.68 $\pm$ 9.46 <sup>#</sup> | 30.99 $\pm$ 2.78 | 33.67 $\pm$ 2.70 <sup>^</sup> | 0.001*                     |

หมายเหตุ \* แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$ , <sup>#</sup> แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่าง RBDL และ RBCC, <sup>^</sup> แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบ RBDL

จากตารางที่ 4 พบว่าความเร็วจากทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 เมื่อเปรียบเทียบรายคู่พบว่า ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น (RFDL) มีความเร็วแตกต่างกับทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง (RFCC), ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น

(RFDL) มีความเร็วแตกต่างกับทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (RBDL), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น (RFDL) มีความเร็วแตกต่างกับทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (RBCC) และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (RBCC) ความเร็วแตกต่างกับทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (RBDL) โดยทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น (RFDL) มีความเร็วของบอลเร็วที่สุด เท่ากับ  $49.33 \pm 1.67$  เมตรต่อวินาที ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง (RFCC) เท่ากับ  $45.68 \pm 46.9$  เมตรต่อวินาที ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (RBCC) เท่ากับ  $33.67 \pm 70.2$  เมตรต่อวินาที และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (RBDL) เท่ากับ  $30.99 \pm 78.2$  เมตรต่อวินาที ตามลำดับ

ตาราง 5 แสดงการเปรียบเทียบความแม่นยำระหว่างทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น ด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนสองทางแบบวัดซ้ำ (Two-Way ANOVA with Repeated Measure)

|                   | RFDL               | RFCC               | RBDL               | RBCC               | Between Group<br>p |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| AZ                | $0.37 \pm 0.50$    | $1.81 \pm 0.54$    | $0.25 \pm 0.44$    | $0.62 \pm 0.71$    | 0.011 <sup>^</sup> |
| NAZ               | $7.62 \pm 2.21^*$  | $7.12 \pm 0.61^*$  | $7.50 \pm 1.59^*$  | $7.50 \pm 1.89^*$  | 0.352              |
| EZ                | $2.00 \pm 2.36$    | $1.06 \pm 0.77$    | $2.25 \pm 1.52^*$  | $1.87 \pm 1.92^*$  | 0.239              |
| Within Group<br>p | 0.007 <sup>^</sup> | 0.001 <sup>^</sup> | 0.001 <sup>^</sup> | 0.001 <sup>^</sup> |                    |

**หมายเหตุ** \* แตกต่างกันในกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$ , # แตกต่างกันระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$ , ^ แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  $p < 0.05$  Two-way ANOVA with repeated measure analysis, RFDL; Running Forehand Down the Line, RFCC; Running Forehand Cross-Court, RBDL; Running Backhand Down the Line, RBCC; Running Backhand Cross-Court, AZ; Accuracy Zone, NAZ; Non Accuracy Zone and EZ; Error Zone

จากตารางที่ 5 พบว่าเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มความแม่นยำ (Accuracy Zone) ของทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นภายหลังการตีบอลลลงในพื้นที่ที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ระหว่างกลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (RFCC;  $1.81 \pm 0.54^{\#}$ ) สำหรับความไม่แม่นยำ (Non Accuracy Zone) และการตีบอลลที่ผิดพลาด (Error Zone) ไม่พบความแตกต่างกัน

เมื่อเปรียบเทียบภายในกลุ่มทุกทักษะ พบว่าความไม่แม่นยำ (Non Accuracy Zone) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (RFDL;  $7.62 \pm 2.21^*$ , RFCC;  $7.12 \pm 0.61^*$ , RBDL;  $7.50 \pm 1.59^*$ , RBCC;  $7.50 \pm 1.89^*$ ) สำหรับการตีบอลลที่ผิดพลาด (Error Zone) พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 (RBDL;  $2.25 \pm 1.52^*$ , RBCC;  $1.87 \pm 1.92^*$ )

ทั้งนี้ผลการศึกษาที่ 1 ผู้วิจัยได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารนานาชาติแล้ว ชื่อวารสาร Journal of Physical Education and Sport (Sangkaew, T., Phongsri, K., Khamros, W., Mohamad, N. I., & Sriramatr, S., 2024)

## ผลการศึกษาที่ 2

กลุ่มตัวอย่างเพศชาย จำนวน 16 คน ที่ผ่านเกณฑ์คุณสมบัติการคัดเลือกเข้า ทำการประกอบคู่มือการแข่งขันเทนนิสบนสนามพื้นดิน จำนวน 8 คู่ ภายหลังจบการแข่งขันในเซตที่ 1 ผู้วิจัยทำการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน และพื้นที่ในการเล่นเกมรุก-เกมรับของตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา (แสดงในตารางที่ 6-7) เช่นเดียวกัน ภายหลังจบการแข่งขันในเซตที่ 2 ผู้วิจัยทำการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม คือนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ และหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน และพื้นที่ในการเล่นเกมรุก-เกมรับของตัวแปรตามที่ต้องการศึกษา (แสดงในตารางที่ 8-9)

การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยสนใจศึกษาเพื่อเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน และพื้นที่ในการเล่นเกมรุก-เกมรับ ระหว่างนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ จากการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรตามด้วยสถิติสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson Correlation Coefficient) เพื่อทำการทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นของข้อมูล ถ้าตัวแปรตามในกลุ่มเดียวกันมีความสัมพันธ์กันระดับปานกลางจะสามารถใช้การวิเคราะห์ด้วยสถิติ Hotelling's  $T^2$  แต่ข้อมูลมีความสัมพันธ์สูงกว่าระดับ 0.7 จึงไม่นำมาวิเคราะห์ทางสถิติร่วมกันเนื่องจากถือว่าเป็นตัวแปรเดียวกัน และไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตามอื่น ๆ

จึงใช้สถิติเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่เป็นอิสระจากกัน (Independent Samples t-test)

ตาราง 6 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาในกลุ่มที่ชนะและนักกีฬาในกลุ่มที่แพ้ ชุดที่ 1

| ตัวแปรตาม                       | กลุ่ม | จำนวน<br>(n=16 คน) | ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน<br>$\bar{X} \pm SD$ |
|---------------------------------|-------|--------------------|----------------------------------------------------------|
| MHR <sub>1</sub> (เปอร์เซ็นต์)  | ชนะ   | 8                  | 78.50 $\pm$ 4.87                                         |
|                                 | แพ้   | 8                  | 75.13 $\pm$ 3.72                                         |
| AvgHR <sub>1</sub> (ครั้ง/นาที) | ชนะ   | 8                  | 157.00 $\pm$ 7.09                                        |
|                                 | แพ้   | 8                  | 144.88 $\pm$ 8.75                                        |
| Metabolism (Kcal.)              | ชนะ   | 8                  | 362.50 $\pm$ 72.75                                       |
|                                 | แพ้   | 8                  | 407.13 $\pm$ 155.00                                      |
| OZ <sub>1</sub> (ครั้ง)         | ชนะ   | 8                  | 74.13 $\pm$ 29.55                                        |
|                                 | แพ้   | 8                  | 75.13 $\pm$ 44.13                                        |
| DZ <sub>1</sub> (ครั้ง)         | ชนะ   | 8                  | 27.25 $\pm$ 19.55                                        |
|                                 | แพ้   | 8                  | 32.75 $\pm$ 11.53                                        |

หมายเหตุ MHR<sub>1</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ชุดที่ 1, AvgHR<sub>1</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย ชุดที่ 1, Metabolism; การเผาผลาญพลังงาน ชุดที่ 1, OZ<sub>1</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรุก ชุดที่ 1, DZ<sub>1</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรับ ชุดที่ 1

ตาราง 7 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมนรกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ เซตที่ 1

| ตัวแปรตาม                       | กลุ่มที่ชนะ  | กลุ่มที่แพ้   | t     | p     |
|---------------------------------|--------------|---------------|-------|-------|
| MHR <sub>1</sub> (เปอร์เซ็นต์)  | 78.50±4.87   | 75.13±3.72    | 1.558 | .282  |
| AvgHR <sub>1</sub> (ครั้ง/นาที) | 157.00±7.09  | 144.88±8.75   | 3.043 | .773  |
| Metabolism (Kcal.)              | 362.50±72.75 | 407.13±155.00 | -.737 | .001* |
| OZ <sub>1</sub> (ครั้ง)         | 74.13±29.55  | 75.13±44.13   | -.053 | .266  |
| DZ <sub>1</sub> (ครั้ง)         | 27.25±19.55  | 32.75±11.53   | -.685 | .289  |

หมายเหตุ \* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$ , MHR<sub>1</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เซตที่ 1, AvgHR<sub>1</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย เซตที่ 1, Metabolism<sub>1</sub>; การเผาผลาญพลังงาน เซตที่ 1, OZ<sub>1</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมนรก เซตที่ 1, DZ<sub>1</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรับ เซตที่ 1

จากตารางที่ 7 พบว่าการเผาผลาญพลังงานของนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย พื้นที่ในการเล่นเกมนรกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับไม่พบความแตกต่างกัน

ตาราง 8 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬาฟุตบอลลีกที่ชนะเลิศและนักกีฬาฟุตบอลลีกที่แพ้ เซตที่ 2

| ตัวแปรตาม                       | กลุ่ม   | จำนวน<br>(n=16 คน) | ค่าเฉลี่ย $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน<br>$\bar{X} \pm SD$ |
|---------------------------------|---------|--------------------|----------------------------------------------------------|
| MHR <sub>2</sub> (เปอร์เซ็นต์)  | ชนะเลิศ | 8                  | 79.00 $\pm$ 6.00                                         |
|                                 | แพ้     | 8                  | 75.75 $\pm$ 4.16                                         |
| AvgHR <sub>2</sub> (ครั้ง/นาที) | ชนะเลิศ | 8                  | 162.50 $\pm$ 6.99                                        |
|                                 | แพ้     | 8                  | 148.75 $\pm$ 9.08                                        |
| Metabolism <sub>2</sub> (Kcal.) | ชนะเลิศ | 8                  | 372.13 $\pm$ 69.98                                       |
|                                 | แพ้     | 8                  | 419.25 $\pm$ 150.76                                      |
| OZ <sub>2</sub> (ครั้ง)         | ชนะเลิศ | 8                  | 79.75 $\pm$ 30.54                                        |
|                                 | แพ้     | 8                  | 78.13 $\pm$ 44.16                                        |
| DZ <sub>2</sub> (ครั้ง)         | ชนะเลิศ | 8                  | 31.00 $\pm$ 20.05                                        |
|                                 | แพ้     | 8                  | 31.50 $\pm$ 12.89                                        |

หมายเหตุ MHR<sub>2</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เซตที่ 2, AvgHR<sub>2</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจ โดยเฉลี่ย เซตที่ 2, Metabolism<sub>2</sub>; การเผาผลาญพลังงาน เซตที่ 2, OZ<sub>2</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรุก เซตที่ 2, DZ<sub>2</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรับ เซตที่ 2

ตาราง 9 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย การเผาผลาญพลังงาน พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับ ระหว่างนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ เซตที่ 2

| ตัวแปรตาม                       | กลุ่มที่ชนะ  | กลุ่มที่แพ้   | t     | p     |
|---------------------------------|--------------|---------------|-------|-------|
| MHR <sub>2</sub> (เปอร์เซ็นต์)  | 79.00±6.00   | 75.75±4.16    | 1.258 | .276  |
| AvgHR <sub>2</sub> (ครั้ง/นาที) | 162.50±6.99  | 148.75±9.08   | 3.393 | .245  |
| Metabolism <sub>2</sub> (Kcal.) | 372.13±69.98 | 419.25±150.76 | -.802 | .001* |
| OZ <sub>2</sub> (ครั้ง)         | 79.75±30.54  | 78.13±44.16   | .086  | .248  |
| DZ <sub>2</sub> (ครั้ง)         | 31.00±20.05  | 31.50±12.89   | -.059 | .353  |

หมายเหตุ \* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$ , MHR<sub>2</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด เซตที่ 2, AvgHR<sub>2</sub>; อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย เซตที่ 2, Metabolism<sub>2</sub>; การเผาผลาญพลังงาน เซตที่ 2, OZ<sub>2</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรุก เซตที่ 2, DZ<sub>2</sub>; พื้นที่ในการเล่นเกมรับ เซตที่ 2

จากตาราง 9 พบว่าการเผาผลาญพลังงานของนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ส่วนค่าอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย พื้นที่ในการเล่นเกมรุกและพื้นที่ในการเล่นเกมรับไม่พบความแตกต่างกัน

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การศึกษาเรื่องการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน เพื่อต้องการให้ผู้ฝึกสอน นักกีฬาและผู้ที่เกี่ยวข้องนำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้กับการวางแผนการฝึกซ้อมและกำหนดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนพื้นดิน เพื่อยกระดับศักยภาพของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนของประเทศไทยในอนาคต การศึกษาในครั้งนี้แบ่งออกเป็น 2 การศึกษา ได้แก่การศึกษาที่ 1 เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำในการวิ่งตีลูกกระดอนพื้น 4 ทักษะ คือ ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น (Running Forehand Down the Line; RFDL), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง (Running Forehand Cross-Court; RFCC), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น (Running Backhand Down the Line; RBDL) และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง (Running Backhand Cross-Court; RBCC) และการศึกษาที่ 2 เพื่อเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและพื้นที่ในการเล่นระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ขณะแข่งขันบนสนามเทนนิสแบบพื้นดิน โดยผู้วิจัยได้อภิปรายผลที่ได้จากการวิจัยตามประเด็นต่าง ๆ ดังนี้

#### อภิปรายผลการศึกษาที่ 1

ผู้วิจัยศึกษาเปรียบเทียบความแม่นยำในการวิ่งตีบอลกระดอนพื้น 4 ทักษะ ซึ่งกลุ่มตัวอย่างทั้ง 16 คน ต้องทำการวิ่งตีบอลจำนวน 10 บอลต่อทักษะ จากเครื่องปล่อยบอลอัตโนมัติด้วยความเร็ว 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เพื่อควบคุมให้บอลตกลงตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด บันทึกวิดีโอการทดสอบแล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Kinovea version 0.8.15 พบว่าทักษะที่นักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนใช้คือทักษะการตีลูกหน้ามือและทักษะการตีลูกหลังมือ ด้วยสัดส่วนที่ใกล้เคียงกัน เนื่องมาจากทักษะดังกล่าวว่านักกีฬาสามารถควบคุมทั้งความเร็วและทิศทางของบอลไปยังจุดตกบนพื้นสนามของคู่ต่อสู้ได้ดีพอ ๆ กัน (Fernandez-Fernandez et al., 2010); (Landlinger et al., 2012) อย่างไรก็ตามแต้มที่ได้จากการตีลูกหน้ามือ (Forehand Winner Point) สูงกว่าแต้มที่ได้จากการตีลูกหลังมือ (Backhand Winner Point) (Janák et al., 2018; Reid et al., 2016) จึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่านักกีฬาเทนนิสจะมีความมั่นใจในการตีบอลด้วยความเร็วสูงในทักษะของการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางทแยงได้สูงกว่าทิศทางขนานเส้น รวมทั้งโปรแกรมการฝึกซ้อมในแต่ละครั้งผู้ฝึกสอนส่วนใหญ่จะเน้นทักษะดังกล่าวเป็นทักษะพื้นฐานใน

การเล่นเกมรุกและเกมรับ ซึ่งการตีบอลกระดอนพื้นบนสนามพื้นดินจะเน้นการตีบอลท็อปปิน (Top Spin) เพื่อต้องการให้บอลเคลื่อนที่ข้ามตาข่ายสูง บอลตกลึกท้ายคอร์ตและกระดอนสูง ส่งผลให้คู่ต่อสู้ตีบอลกลับมาได้ยากกว่าการตีบอลแฟต (Flat) ลักษณะการเคลื่อนที่ของบอลจะพุ่งเข้าหานักกีฬาและความเร็วของบอลภายหลังการตีก็แตกต่างกัน (Genevois et al., 2018) ความแม่นยำในการควบคุมบอลด้านหน้ามือให้ลงในพื้นที่เป้าหมายสูงกว่าหลังมือ เพราะทักษะการตีบอลหน้ามือจะใช้กล้ามเนื้อมัดหลักและมัดใหญ่ที่สัมพันธ์กัน เป็นการเรียนรู้ทางกลไกการเคลื่อนไหวที่ง่ายไม่ซับซ้อน นักกีฬาเทนนิสทุกคนสามารถใช้แรงจากการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือได้รุนแรงกว่าหลังมือ อีกทั้งการตีบอลลงในพื้นที่แนวทแยง (Cross Court) มักจะพบความถี่ของทักษะทั้งหน้ามือและหลังมือมากกว่าการตีบอลในแนวขนานเส้น (Down the Line) เพราะระยะทางในการเคลื่อนที่ของบอลไกลกว่าทำให้ลดการตีบอลเสียเอง (Unforced Error) (Fernandez-Fernandez et al., 2010); (Landlinger et al., 2012)

การกระดอนของบอลบนสนามแบบพื้นดินจะมีแรงเสียดทานสูงกว่าพื้นสนามแบบพื้นแข็ง เมื่อลูกเทนนิสสัมผัสพื้นดินความเร็วและความแรงของบอลจะลดลง ทำให้บอลจะกระดอนสูง การศึกษาของ Murphy et al. (2014a) พบว่านักกีฬาระดับเยาวชนทั้งเพศชายและเพศหญิง ฝึกซ้อมการตีบอลกระดอนพื้นประมาณ 388 ครั้งต่อวัน สำหรับผู้เล่นที่มีประสบการณ์สูงจะพยายามรักษาความเร็วแรกเกิดให้สูงตลอดจังหวะการตี และสร้างโอกาสในการตีบอลไปในทิศทางต่าง ๆ ได้อย่างแม่นยำ (Fitzpatrick et al., 2019) นักกีฬาเทนนิสในปัจจุบันที่แข่งขันบนสนามพื้นดิน เน้นการเปิดเกมรุกด้วยลูกเสิร์ฟที่สามารถกดดันและเป็นการบังคับให้คู่ต่อสู้ตีโต้กลับมาได้ยาก บอลเสิร์ฟจะเน้นบอลกระดอนสูงและบังคับให้ลงตำแหน่งจุดกึ่งกลางของคอร์ต (ตำแหน่ง T) (Vaverka et al., 2018) รวมทั้งการเล่นเกมท้ายคอร์ตที่รัดกุมและผิดพลาดจากการตีเสียเอง ปรับวิธีการจบแต้มด้วยการหาจังหวะขึ้นไปเล่นลูกหน้าตาข่ายทั้งทักษะการเล่นลูกในอากาศหน้าตาข่าย (Volley) และการเล่นลูกเหนือศีรษะ (Smash) ธรรมชาติของวิถึบอลที่ตกกระดอนบนพื้นดินจะถูกพื้นดินดูดการขับเคลื่อนทำให้ความเร็วของบอลช้าลง บอลกระดอนในแนวตั้งมากกว่าสนามพื้นแข็งและสนามหญ้า นักกีฬาเทนนิสจะมีเวลาในการตีบอลจึงเน้นเป็นการตีบอลกระดอนสูงในทักษะการตีหน้ามือในทิศทางทแยง (Cross-Court) ซึ่งได้เปรียบความยาวของระยะทางที่ไกลกว่าการตีขนานเส้นหรือทิศทางตรง (Down the Line) (Reid et al., 2016) การศึกษารั้ครั้งนี้นักกีฬาต้องวิ่งตีบอลจำนวน 10 บอลต่อทักษะ (รวม 40 บอล) การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางทแยงมีความแม่นยำสูงสุด รองลงมาคือการวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางทแยง ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทาง

ขนานเส้น ตามลำดับ จึงเป็นเหตุผลที่สนับสนุนว่านักกีฬาเทนนิสจะมีความมั่นใจในการตีบอลด้วยความเร็วสูงในทักษะของการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางทแยงได้สูงกว่าทิศทางขนานเส้น เมื่อนำไปใช้กับสถานการณ์การแข่งขันจริงการเอาชนะคู่ต่อสู้ได้ต้องเน้นความแม่นยำและการตีผิดพลาดเองให้เกิดขึ้นน้อยที่สุด

สำหรับบอลที่ไม่มีความแม่นยำ คือบอลที่ไม่ได้ลงตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ แต่ยังเป็นพื้นที่แข่งขันที่สามารถได้คะแนน จากทักษะทั้ง 4 ทักษะพบว่ามีความใกล้เคียงกัน ( $RFDL=7.62\pm2.21^*$ ,  $RFCC=7.12\pm0.61^*$ ,  $RBDL=7.50\pm1.59^*$ ,  $RBCC=7.50\pm1.89^*$ ) สำหรับนักกีฬาเทนนิสที่มีประสบการณ์ในการแข่งขันสูง การแข่งขันบนสนามพื้นดินผู้เล่นจะพยายามควบคุมบอลให้บอลตกลึกท้ายคอร์ตและบอลมีการกระดอนสูง เพื่อลดข้อผิดพลาดในการตีบอลออกนอกสนามหรือตีบอลติดตาข่าย แต่ในนักกีฬาระดับเยาวชนจะมีการใช้ทักษะการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือจากภายในสู่ภายนอก (Forehands Inside-Out) แทนการตีบอลกระดอนพื้นหลังมือ (Delgado-García et al., 2019) สำหรับบอลที่ผิดพลาดทั้งการตีออกนอกสนาม การตีบอลติดตาข่ายหรือการตีบอลเสียทุกกรณี จากการศึกษาพบว่าทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น มีความผิดพลาดสูงที่สุด ( $2.25\pm1.52^*$ ) รองลงมาคือ ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางขนานเส้น ( $2.00\pm2.36$ ), ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง ( $1.87\pm1.92^*$ ) และทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยงผิดพลาดน้อยที่สุด ( $1.06\pm0.77$ ) ตามลำดับ สอดคล้องกับการศึกษาของ Yamamoto et al. (2019) ที่ศึกษาความแปรปรวนสองมิติสำหรับการตีบอลกระดอนพื้นทั้งหน้ามือและหลังมือในกีฬาเทนนิส พบว่าข้อผิดพลาดพบได้ทั้งการตีบอลกระดอนพื้นทั้งหน้ามือและหลังมือทั้งในระนาบแกน X (X-axis) และแกน Y (Y-axis) ซึ่งมีความสำคัญอย่างยิ่งในกีฬาเทนนิสเพราะความเหมาะสมของจุดกระทบระหว่างแร็กเก็ตกับลูกเทนนิส จำเป็นต้องได้รับการปรับให้เหมาะสมเพื่อความแม่นยำตามความยาวของสนามที่ผู้เล่นคาดการณ์ไว้ว่าต้องการตีบอลขนานเส้น (Down the Line) หรือตีบอลทแยง (Cross Court) (Delgado-García et al., 2019)

นอกจากนี้ จากการศึกษายังพบว่าความเร็วในการตีบอลโดยใช้ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือ ( $RFDL=49.33\text{ m/s}$ ,  $RFCC=45.68\text{ m/s}$ ) มีค่าเฉลี่ยของความเร็วที่สูงกว่าการใช้ทักษะการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหลังมือ ( $RBDL=30.99\text{ m/s}$ ,  $RBCC=33.67\text{ m/s}$ ) สอดคล้องกับการศึกษาของ Bower and Cross (2008) พบว่าการเพิ่มความเร็วเชิงมุม (Angular velocity) ในนักกีฬาเทนนิสอาชีพสูงกว่านักกีฬาเทนนิสสมัครเล่น อีกทั้งยังสามารถอธิบายได้ด้วยหลักการทางชีวกลศาสตร์ที่นักกีฬาเทนนิสสามารถถ่ายโยงแรงจากพื้นสู่แร็กเก็ตและส่งต่อไปยังลูกเทนนิส

หากนักกีฬาสามารถถ่ายโยงแรงผ่านข้อต่อจากส่วนล่างสู่ข้อต่อส่วนบนได้ถูกต้องและเชื่อมโยงได้อย่างสัมพันธ์กัน ความเร็วของบอลก็จะเพิ่มมากขึ้น (Denning et al., 2011) อีกทั้งค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของพื้นผิวสนามเทนนิสยังส่งผลต่อความเร็วของลูกเทนนิส พบว่าสนามเทนนิสพื้นดินมีค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานที่สูงกว่าพื้นผิวสนามอื่น ๆ ส่งผลให้มีการกระดอนสูงและค่อนข้างนุ่มนวล (O'Donoghue & Ingram, 2001) ส่งผลให้นักกีฬาใช้เกมตีได้ท้ายคอร์ตมากกว่าการแข่งขันบนพื้นผิวสนามแบบพื้นแข็ง นักกีฬาที่ต้องการแต้มจากเกมนั้นจะพยายามปรับแผนการเล่นเพื่อหาโอกาสขึ้นมาเล่นหน้าตาข่ายโดยใช้ทักษะการเล่นลูกวอลเลย์หรือลูกเหนือศีรษะ โดยการเพิ่มหรือลดความเร็วของบอลในจังหวะที่ตนเองมองว่าได้เปรียบผู้เล่นฝั่งตรงข้าม ซึ่งในการศึกษารังนี้มักจะพบในนักกีฬากลุ่มที่ชนะมากกว่ากลุ่มที่แพ้ สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าพื้นผิวที่แตกต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเล่นเทนนิสในระดับอาชีพ (Carboch et al., 2019)

ผู้วิจัยยังพบความสัมพันธ์ระดับปานกลางระหว่างการวิ่งตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือ (RFDL, RFCC) ซึ่งในนักกีฬาระดับเยาวชนจะมีการใช้ทักษะการตีบอลกระดอนพื้นหน้ามือจากภายในสู่ภายนอก (Forehands Inside-Out) แทนการตีบอลกระดอนพื้นหลังมือ (Delgado-García et al., 2019) เพราะนักกีฬาต้องการลดการตีที่ผิดพลาดและเสียแต้มจากการตีเสียเองให้ได้มากที่สุด จึงเลือกทักษะการตีบอลหน้ามือมากกว่า แต่พบว่าข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นสามารถพบได้ทั้งการตีบอลกระดอนพื้นทั้งหน้ามือและหลังมือ (Yamamoto et al., 2019) ดังนั้นผู้ฝึกสอนจึงควรนำข้อมูลเหล่านี้ไปปรับใช้กับการฝึกซ้อม เพื่อให้ให้นักกีฬาสามารถเล่นได้หลากหลายเหมาะสมกับพื้นผิวสนามเทนนิสและกลยุทธ์ที่วางไว้ เพราะบางสถานการณ์นักกีฬาต้องตัดสินใจเพียงเสี้ยววินาทีในการเลือกทักษะใดทักษะหนึ่งในการตีบอลกับสถานการณ์ในขณะนั้น หากบอลมีทั้งความเร็วและความแม่นยำนักกีฬาคนนั้นก็จะประสบความสำเร็จในการแข่งขัน (Landlinger et al. (2010)

## อภิปรายผลการศึกษาที่ 2

การศึกษาที่ 2 ผู้วิจัยจำลองการแข่งขันเพื่อต้องการให้นักกีฬาแสดงความสามารถได้อย่างเต็มที่และผู้วิจัยสามารถเก็บข้อมูลได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์การแข่งขันจริงมากที่สุด โดยใช้กติกาการแข่งขันสากลในระบบ 2:3 เซต ดิวซ์ปกติ (ITF, 2021) ทำการประกบคู่การแข่งขันประเภทชายเดี่ยว จำนวน 8 คู่ ผู้วิจัยจะทำการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการแข่งขัน (Polar H10) และทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวตลอดการแข่งขัน เมื่อการแข่งขันจบลงทำการแบ่งนักกีฬาเป็น 2 กลุ่ม คือ นักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ ผู้วิจัยเปรียบเทียบอัตราการเต้นของ

หัวใจสูงสุด (MHR) อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย (Avg.HR) การเผาผลาญพลังงาน (Metabolism) และพื้นที่ในการเล่น (Tennis Zone) ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลที่ชนะและนักกีฬาฟุตซอลที่แพ้ พบว่า

1. การเผาผลาญพลังงานระหว่างนักกีฬาฟุตซอลที่ชนะและนักกีฬาฟุตซอลที่แพ้ พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  ทั้งการแข่งขันในเซตที่ 1 (กลุ่มที่ชนะ;  $362.50 \pm 72.75$ , กลุ่มที่แพ้;  $407.13 \pm 155.00$ ) ( $p = 0.001$ ) และการแข่งขันในเซตที่ 2 (กลุ่มที่ชนะ;  $372.13 \pm 69.98$ , กลุ่มที่แพ้;  $419.25 \pm 150.76$ ) ( $p = 0.001$ ) เนื่องจากกระบวนการสร้างพลังงานของร่างกายจะแตกต่างกัน ทั้งระยะเวลาและระดับความหนักของกิจกรรม จากการวิเคราะห์ข้อมูล นักกีฬาฟุตซอลที่แพ้จะมีปริมาณการวิ่งและการเคลื่อนไหวที่มากกว่านักกีฬาฟุตซอลที่ชนะ จึงทำให้ร่างกายต้องเผาผลาญพลังงานสูงกว่านักกีฬาฟุตซอลที่ชนะ ระบบพลังงานหลักที่ร่างกายสร้างขึ้นคือ อะดีโนซีนไตรฟอสเฟต หรือ ATP ซึ่งจะถูกสร้างขึ้นได้โดย 3 ระบบพลังงาน คือ 1) ระบบฟอสฟาเจน จะให้พลังงานรวดเร็วสำหรับใช้ในการหดตัวของกล้ามเนื้อแบบรวดเร็วและเฉียบพลันในระยะเวลาอันสั้นประมาณ 8–10 วินาที 2) ระบบไกลโคเจน-กรดแลคติก เป็นระบบที่สลายไกลโคเจนโดยไม่อาศัยออกซิเจน ซึ่งจะให้พลังงานสำหรับการหดตัวของกล้ามเนื้อเพื่อการออกกำลังกายในระยะเวลาที่ยาวกว่าระบบแรก คือประมาณ 80–100 วินาที และ 3) ระบบพลังงานแบบแอโรบิกจะให้พลังงานสำหรับการออกกำลังกายด้วยความหนักปานกลางและระยะเวลายาวนานอย่างต่อเนื่อง (โรจพล บวรรักษ์, 2560) คาร์โบไฮเดรตถือเป็นสารอาหารให้พลังงานที่สำคัญที่สุดในบรรดาสารอาหารหลัก เนื่องจากปริมาณสะสมของสารอาหารในร่างกายนั้นจะมีผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการออกกำลังกาย นอกจากนี้ฮอร์โมนและสารเคมีต่าง ๆ นั้นมีบทบาทในการกระตุ้นการสร้างพลังงานในการออกกำลังกายด้วยเช่นกัน พลังงานแต่ละระบบนั้นมีความสอดคล้องกับการแสดงประสิทธิภาพในแต่ละประเภทกีฬา ผู้ฝึกสอนกีฬาจำเป็นต้องมีความรู้ความเข้าใจในความรู้พื้นฐานของระบบพลังงานของร่างกายเพื่อที่จะสามารถนำความรู้ไปประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมได้ต่อไป

2. อัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด (MHR) ระหว่างนักกีฬาฟุตซอลที่ชนะและนักกีฬาฟุตซอลที่แพ้ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  ทั้งการแข่งขันในเซตที่ 1 (กลุ่มที่ชนะ;  $78.50 \pm 4.87\%$ , กลุ่มที่แพ้;  $75.13 \pm 3.72\%$ ) ( $p = 0.282$ ) และการแข่งขันในเซตที่ 2 (กลุ่มที่ชนะ;  $79.00 \pm 6.00\%$ , กลุ่มที่แพ้;  $75.75 \pm 4.16\%$ ) ( $p = 0.276$ ) โดยทั่วไปอัตราการเต้นของหัวใจจะเป็นดัชนีบ่งชี้ถึงความหนักในขณะแข่งขันกีฬาได้ อัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนที่สัมพันธ์กันโดยตรงกับระดับความหนักของงานและปริมาณการใช้ออกซิเจนในขณะออกกำลังกาย โดยในการออกกำลังกายที่มีความหนักเท่ากันตลอด (Steady State Exercise)

อัตราการเต้นของหัวใจจะมีระดับคงที่ตลอดการออกกำลังกาย แต่ในการออกกำลังกายแบบความหนักไม่คงที่ (Intermittent Exercise) การเพิ่มของอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นและลดลงตามระดับความหนักของงานที่เกิดขึ้น (Bangsbo, 2000) ซึ่งในกีฬาเทนนิสนั้น ลักษณะความหนักจะเป็นแบบไม่คงที่และไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นอัตราการเต้นของหัวใจจะเพิ่มขึ้นตามกิจกรรมการเคลื่อนไหวที่ใช้ความเร็วในการวิ่งระดับสูง ซ้ำ ๆ หลาย ๆ เที้ยว (Kovacs, 2007) ปัจจัยที่ส่งผลต่ออัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของนักกีฬากลุ่มที่ชนะมีแนวโน้มสูงกว่านักกีฬากลุ่มที่แพ้ทั้ง 2 เซต อาจเนื่องมาจากการเล่นเกมรุกที่ดุเดือดและรุนแรงกว่า เพื่อต้องการทำแต้มในเกมนั้น ๆ อีกทั้งการเร่งความเร็วอย่างทันทีทันใดในขณะเคลื่อนที่เพื่อจบแต้มส่งผลให้การอัตราการเต้นของหัวใจสูงสอดคล้องกับ นิรอมลี มะกาเจ และคณะ (Niromlee et.,al, 2017) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบความต้องการทางสรีรวิทยาและปริมาณการเคลื่อนที่ขณะแข่งขันเทนนิสในนักกีฬาเยาวชนระดับชั้นเลิศระหว่างนักกีฬาที่ชนะและนักกีฬาที่แพ้ พบว่ากลุ่มนักกีฬาที่เป็นผู้ชนะมีการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งและทิศทางต่าง ๆ น้อยกว่ากลุ่มนักกีฬาที่แพ้ โดยกลุ่มผู้ชนะมีค่าเฉลี่ยการเคลื่อนที่ทั้งหมด 62.5 ครั้ง ขณะที่กลุ่มผู้แพ้มียุทธศาสตร์การเคลื่อนที่ทั้งหมด 69.5 ครั้ง สำหรับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดของนักกีฬาทั้ง 2 กลุ่มไม่แตกต่างกัน อาจเนื่องมาจากประสบการณ์การแข่งขันของนักกีฬาอยู่ในระดับเดียวกัน จึงสามารถใช้พลังงานระบบแอนแอโรบิคและพลังงานระบบแบบแอโรบิกในระดับความหนักสูงเพื่อเคลื่อนไหวในทักษะต่าง ๆ ได้ดี โดยงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่า นักกีฬาเพื่อความบันเทิงมีประสบการณ์การแข่งขันที่สูงจะมีอัตราการเต้นของหัวใจน้อยกว่ากลุ่มนักกีฬาสมัครเล่นในกิจกรรมที่ระดับความหนักสูง (High Intensity) (Fernandez-Fernandez, Zimek, Wiewelhoeve, & Ferrauti, 2012)

3. อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย (Avg.HR) ระหว่างนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  ทั้งการแข่งขันในเซตที่ 1 (กลุ่มที่ชนะ;  $157.00 \pm 7.09$  ครั้ง/นาที, กลุ่มที่แพ้;  $144.88 \pm 8.75$  ครั้ง/นาที) ( $p = 0.773$ ) และการแข่งขันในเซตที่ 2 (กลุ่มที่ชนะ;  $162.50 \pm 6.99$  ครั้ง/นาที, กลุ่มที่แพ้;  $148.75 \pm 9.08$  ครั้ง/นาที) ( $p = 0.245$ ) ซึ่งเป็นไปในทิศทางเดียวกับอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุดที่นักกีฬากลุ่มที่ชนะจะมีแนวโน้มสูงกว่านักกีฬากลุ่มที่แพ้ แต่ไม่พบความแตกต่างกันทางสถิติ ผลการวิจัยที่ได้สูงกว่าการศึกษาของโควาส พบว่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะแข่งขันเทนนิสอยู่ในช่วง 142-155 ครั้งต่อนาที (Kovacs, 2006) อาจเนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยจำลองการแข่งขันได้จำลองการแข่งขันสนามในร่ม (Indoor Court) ฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นตลอดการแข่งขันมีปริมาณสูง การระบายอากาศน้อย การหายใจของนักกีฬาทำได้ยากกว่าการแข่งขันกลางแจ้ง (Outdoor Court) อีกทั้งผู้วิจัย

ได้ศึกษาในกลุ่มนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนที่มีระดับความสามารถทางทักษะและสมรรถภาพทางกายใกล้เคียงกัน จึงอาจส่งผลให้อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยขณะแข่งขันของนักกีฬากลุ่มที่ชนะและกลุ่มที่แพ้ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นอาจสรุปได้ว่าปัจจัยด้านอัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ยและอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด ไม่ได้เป็นปัจจัยสำคัญที่จำแนกผลแพ้ชนะของการแข่งขันเทนนิสได้อย่างไรก็ดี จากผลวิจัยของ Fernandez et.al (2006) พบว่า นักกีฬาชั้นเลิศที่มีประสบการณ์การแข่งขันที่สูงจะมีอัตราการเต้นของหัวใจและระดับความเข้มข้นของกรดแลคติกมากกว่ากลุ่มนักกีฬาสสมัครเล่น

4. พื้นที่ในการเล่น (Tennis Zone) ทั้งเกมรุก (Offensive Zone) และเกมรับ (Defensive Zone) ระหว่างนักกีฬากลุ่มที่ชนะและนักกีฬากลุ่มที่แพ้ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญสถิติที่ระดับ  $p < 0.05$  จำแนกตามเกมรุก (กลุ่มที่ชนะ;  $74.13 \pm 29.55$  ครั้ง, กลุ่มที่แพ้;  $75.13 \pm 44.13$  ครั้ง) ( $p = 0.266$ ) จำแนกตามเกมรับ (กลุ่มที่ชนะ;  $27.25 \pm 19.55$  ครั้ง, กลุ่มที่แพ้;  $32.75 \pm 11.53$  ครั้ง) ( $p = 0.289$ ) การแข่งขันในเซต ที่ 1 สำหรับการแข่งขันในเซตที่ 2 จำแนกตามเกมรุก (กลุ่มที่ชนะ;  $79.75 \pm 30.54$  ครั้ง, กลุ่มที่แพ้;  $78.13 \pm 44.16$  ครั้ง) ( $p = 0.248$ ) จำแนกตามเกมรับ (กลุ่มที่ชนะ;  $31.00 \pm 20.05$  ครั้ง, กลุ่มที่แพ้;  $31.50 \pm 12.89$  ครั้ง) ( $p = 0.353$ ) ทั้งนี้เนื่องจากการแข่งขันกีฬาเทนนิสบนพื้นดินนั้น นักกีฬาส่วนใหญ่จะยืนบริเวณนอกสนามและเคลื่อนที่บริเวณเส้นท้ายคอร์ตเป็นหลัก ซึ่งเป็นพื้นที่ในการเล่นเกมรับเป็นส่วนใหญ่ และมีการเคลื่อนที่ถอยหลังบ่อยครั้ง เพราะคู่แข่งมักจะตีบอลกระดอนสูงเพื่อทำคะแนนซึ่งเป็นลูกที่รับยากกว่าการตีบอลแฟลต (Kovacs, 2007) ดังนั้น นักกีฬาเทนนิสที่เป็นฝ่ายรุกจึงมักจะตีบอลลักษณะนี้บ่อยครั้ง สอดคล้องกับการศึกษาของ นิรอมลี มะกาเจ และคณะ (Nirornlee et.al, 2017) ตำแหน่งที่นักกีฬาจะเคลื่อนที่บ่อยคือการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เพราะคู่แข่งมักตีลูกไปทางซ้ายมือซึ่งเป็นข้างที่ไม่ถนัดของนักกีฬา เนื่องจากนักกีฬานัดมือขวาเป็นส่วนใหญ่ โดยลักษณะการตีลูกดังกล่าวจะเป็นการบังคับเพื่อให้ฝ่ายรับตีลูกแบคแฮนด์ ซึ่งเป็นทักษะที่ยากในการควบคุมทิศทางมากกว่าการตีลูกโฟร์แฮนด์ (International Tennis Federation, 2001)

## สรุปผลการวิจัย

เพื่อต้องการให้ผู้ที่เกี่ยวข้องได้นำผลการวิจัยที่ได้ไปปรับใช้กับการวางแผนการฝึกซ้อม และกำหนดโปรแกรมการเสริมสร้างสมรรถภาพทางกายที่เฉพาะเจาะจงในนักกีฬาเทนนิสที่แข่งขันบนพื้นดิน เพื่อยกระดับศักยภาพของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชนในอนาคต

1. ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางตรงขนานเส้น มีความเร็วของบอลเร็วที่สุด รองลงมาคือทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยง ทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางแนวทแยง และทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหลังมือทิศทางขนานเส้น ตามลำดับ

2. ความแม่นยำจากทักษะการวิ่งตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางแนวทแยงมากที่สุด นักกีฬาเทนนิสจะมีความมั่นใจในการตีบอลลด้วยความเร็วสูงในทักษะของการตีบอลลกระดอนพื้นหน้ามือทิศทางทแยงได้สูงกว่าทิศทางขนานเส้น

3. การเผาผลาญพลังงานนักกีฬากลุ่มที่ชนะใช้พลังงานน้อยกว่านักกีฬากลุ่มที่แพ้ จากการวิเคราะห์ข้อมูลนักกีฬากลุ่มที่แพ้จะมีปริมาณการวิ่งและการเคลื่อนที่มากกว่านักกีฬากลุ่มที่ชนะ จึงทำให้ร่างกายต้องเผาผลาญพลังงานสูงกว่านักกีฬากลุ่มที่ชนะ

## ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยในอนาคต

1. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบความต้องการทางสรีรวิทยาและการตอบสนองทางสรีรวิทยาระหว่างการแข่งขันเทนนิสบนสนามแบบพื้นดินที่เป็นคอร์ตในร่ม (Indoor Court) กับคอร์ตกลางแจ้ง (Outdoor Court)

2. ควรมีการศึกษาผลขับพลันของฝุ่นละอองที่เกิดขึ้นกับนักกีฬา จากการแข่งขันเทนนิสบนสนามแบบพื้นดินที่เป็นคอร์ตในร่ม (Indoor Court)

3. ควรมีการศึกษาตัวแปรตามอื่น ๆ ทางชีวกลศาสตร์ในสถานการณ์การแข่งขันจริง

4. ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์บนสนามแบบพื้นดิน ทั้งการแข่งขันประเภทเดี่ยวและประเภทคู่ นักกีฬาเทนนิสหญิงและนักกีฬาเทนนิสชาย

### ข้อจำกัดของงานวิจัย

1. สถานที่ในการเก็บข้อมูลวิจัยครั้งนี้ เป็นสนามเทนนิสพื้นดินที่ได้มาตรฐานในประเทศไทย เป็นสนามเทนนิสในร่ม จึงอาจส่งผลกระทบต่อภาวะระบบอากาศสำหรับนักกีฬาเทนนิสบางคน ไม่คุ้นชินกับการแข่งขันกับสนามเทนนิสในร่ม
2. เนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้เป็นการจำลองการแข่งขัน เพื่อให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์จริงมากที่สุด แต่ยังมีหลายปัจจัยที่ผู้วิจัยไม่สามารถควบคุมให้ใกล้เคียงกับการแข่งขันจริงได้ เช่น ความกดดันจากกองเชียร์ ผลการแข่งขันที่มีต่อคะแนนสะสมของนักกีฬา (Ranking)



## บรรณานุกรม

- Baiget, E., Fernández-Fernández, J., Iglesias, X., Vallejo, L., & Rodríguez, F. A. (2014). On-court endurance and performance testing in competitive male tennis players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(1), 256-264.
- Bekraoui, N., Fargeas-Gluck, M.-A., & Léger, L. (2012). Oxygen uptake and heart rate response of 6 standardized tennis drills. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 37(5), 982-989.
- Binnie, M. J., Peeling, P., Pinnington, H., Landers, G., & Dawson, B. (2013). Effect of surface-specific training on 20 -m sprint performance on sand and grass surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(12), 3515-3520.  
doi:10.1519/JSC.0b013e31828f043f
- Björklund, G., Swarén, M., Norman, M., Alonso, J., & Johansson, F. (2020). Metabolic Demands, Center of Mass Movement and Fractional Utilization of  $\dot{V} \text{O}_2\text{max}$  in Elite Adolescent Tennis Players During On-Court Drills. *Frontiers in sports and active living*, 2, 92.
- Bower, R., & Cross, R. (2008). Elite tennis player sensitivity to changes in string tension and the effect on resulting ball dynamics. *Sports Engineering*, 11, 31-36.
- Carboch, J., Sklenarik, M., Šiman, J., & Blau, M. (2019). Match Characteristics and Rally Pace of Male Tennis Matches in Three Grand Slam Tournaments.  
<https://doi.org/10.16926/par.2019.07.06>
- Chapelle, L., Clarys, P., Meulemans, S., & Aerenhouts, D. (2017). Physiological responses, hitting accuracy and step count of a tennis drill in function of court surface: a randomised cross-over design [Article]. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(4), 622-629. Retrieved from <Go to ISI>://WOS:000414190700022
- Cui, Y., Gómez, M.-Á., Gonçalves, B., Liu, H., & Sampaio, J. (2017). Effects of experience

and relative quality in tennis match performance during four Grand Slams.

*International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(5), 783-801.

Delgado-García, G., Vanrenterghem, J., Muñoz-García, A., Ruiz-Malagón, E. J., Mañas-Bastidas, A., & Soto-Hermoso, V. M. (2019). Probabilistic structure of errors in forehand and backhand groundstrokes of advanced tennis players. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19(5), 698-710.

Denning, M., Funk, M., Hager, R., Hopkins, J. T., & Seeley, M. K. (2011). Kinematic Changes Associated With Changing Intensities During the Tennis Forehand Groundstroke: 3010: Board# 309 June 3 2: 00 PM-3: 30 PM. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(5), 861.

Elliott, B. (2006). Biomechanics and tennis. *British journal of sports medicine*, 40(5), 392-396.

Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2003). *Biomechanics of advanced tennis*. International Tennis Federation London.

Elliott, B., Reid, M., & Crespo, M. (2009). *Technique development in tennis stroke production*. International Tennis Federation.

Fernandez, J., Mendez-Villanueva, A., & Pluim, B. M. (2006). Intensity of tennis match play. *British journal of sports medicine*, 40(5), 387-391.

Fernandez-Fernandez, J. S.-R., David Sanchez-Muñoz, Cristobal de la Aleja Tellez, Jose Gonzalez Buchheit, Martin & Mendez-Villanueva, Alberto. (2011). Physiological responses to on-court vs running interval training in competitive tennis players. *Journal of sports science & medicine*, 10(3), 540.

Fernandez-Fernandez, J., Kinner, V., & Ferrauti, A. (2010). The physiological demands of hitting and running in tennis on different surfaces. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(12), 3255-3264.

Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., & Mendez-Villanueva, A. (2009). A review of the activity profile and physiological demands of tennis match play. *Strength &*

*Conditioning Journal*, 31(4), 15-26.

- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Fernandez-Garcia, B., & Mendez-Villanueva, A. (2008). Match activity and physiological load during a clay-court tennis tournament in elite female players. *Journal of sports sciences*, 26(14), 1589-1595.
- Fernandez-Fernandez, J., Sanz-Rivas, D., Sanchez-Muñoz, C., Aleja Tellez, J. G., Buchheit, M., & Mendez-Villanueva, A. (2011). Physiological responses to on-court vs running interval training in competitive tennis players. *Journal of sports science & medicine*, 10(3), 540.
- Fernandez-Fernandez, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2014). Fitness testing of tennis players: how valuable is it? *British journal of sports medicine*, 48(Suppl 1), i22-i31.
- Fernandez-Fernandez, J., Zimek, R., Wiewelhove, T., & Ferrauti, A. (2012). High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1), 53-62.
- Fett, J., Ulbricht, A., & Ferrauti, A. (2020). Impact of physical performance and anthropometric characteristics on serve velocity in elite junior tennis players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 34(1), 192-202.
- Filipicic, A., Leskosek, B., Crespo, M., & Filipicic, T. (2021). Matchplay characteristics and performance indicators of male junior and entry professional tennis players. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 16(3), 768-776.
- Firestein, G. S., Budd, R. C., Gabriel, S. E., McInnes, I. B., & O'Dell, J. R. (2016). *Kelley and Firestein's textbook of rheumatology*. Elsevier Health Sciences.
- Fitzpatrick, A., Stone, J. A., Choppin, S., & Kelley, J. (2019). Important performance characteristics in elite clay and grass court tennis match-play. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 19(6), 942-952.
- Fox, J. L., O'Grady, C. J., Scanlan, A. T., Sargent, C., & Stanton, R. (2019). Validity of the Polar Team Pro Sensor for measuring speed and distance indoors. *Journal of Science and medicine in Sport*, 22(11), 1260-1265.

- Gaudino, P., Gaudino, C., Alberti, G., & Minetti, A. E. (2013). Biomechanics and predicted energetics of sprinting on sand: Hints for soccer training. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(3), 271-275. doi:10.1016/j.jsams.2012.07.003
- Genevois, C., Reid, M., Creveaux, T., & Rogowski, I. (2018). Kinematic differences in upper limb joints between flat and topspin forehand drives in competitive male tennis players. *Sports Biomechanics*.
- Girard, O., Vaseux, D., & Millet, G. (2005). Comparison of efficiency of three training programs in tennis players. *SCIENCE ET SPORTS*, 20(1), 45-47.
- Hannes, Frühschütz. (2017). *Evaluation of markerless tracking for kinematics in tennis*. (Master of Science (M.Sc.)), Munich School of Engineering, München.
- ITF. (2021). *Rule of Tennis 2021*. Wright and Son limited. Retrieved from <https://www.itftennis.com/media/4421/2021-rules-of-tennis-english.pdf>
- Janák, O., Pačes, J., & Zháněl, J. (2018). Analysis of the game characteristics of a final juniors (male) match U14 at World Junior Tennis Finals in 2017 (case study). *Studia sportiva*, 12(2), 46-55.
- Janák, O., Pačes, J., & Zháněl, J. (2019). Analysis of the game characteristics of a final juniors (male) match U14 at World Junior Tennis Finals in 2017 (case study). *Studia sportiva*, 12(2), 46-55.
- Joseph, Hamill, Kathleen, M. Knutzen, & Timothy, R. Derrick. (2015). *Biomechanical Basis of Human Movement* (4th ed.): Wolters Kluwer.
- Kilit, B., & Arslan, E. (2017). Physiological responses and time-motion characteristics of young tennis players: Comparison of serve vs. return games and winners vs. losers matches. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 17(5), 684-694.
- Klaus, A., Bradshaw, R., Young, W., O'Brien, B., & Zois, J. (2017). Success in national level junior tennis: Tactical perspectives. *International Journal of Sports Science & Coaching*, 12(5), 618-622.

- Kovacs, M. (2006). Applied physiology of tennis performance. *British journal of sports medicine*, 40(5), 381-386.
- Kovacs, M. S. (2007). Tennis physiology. *Sports medicine*, 37(3), 189-198.
- Landlinger, J., Lindinger, S. J., Stöggl, T., Wagner, H., & Müller, E. (2010). Kinematic differences of elite and high-performance tennis players in the cross court and down the line forehand. *Sports Biomechanics*, 9(4), 280-295.
- Landlinger, J., Stöggl, T., Lindinger, S., Wagner, H., & Müller, E. (2012). Differences in ball speed and accuracy of tennis groundstrokes between elite and high-performance players. *European journal of sport science*, 12(4), 301-308.
- Meckel, Y., Hophy, A., Dunsky, A., & Eliakim, A. (2015). Relationships between physical characteristics and ranking of young tennis players. *Central European Journal of Sport Sciences and Medicine*, 2(10), 5-12.
- Murias, J. M., Lanatta, D., Arcuri, C. R., & Laino, F. A. (2007). Metabolic and functional responses playing tennis on different surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 112.
- Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., & Reid, M. (2014a). Comparison of athlete–coach perceptions of internal and external load markers for elite junior tennis training. *International journal of sports physiology and performance*, 9(5), 751-756.
- Murphy, A. P., Duffield, R., Kellett, A., & Reid, M. (2014b). A descriptive analysis of internal and external loads for elite-level tennis drills. *International journal of sports physiology and performance*, 9(5), 863-870.
- Niromlee M., Ratree R., Atus T., Aniwat R., & Phennipha P., (2017). Comparison of the physiological demand and activity pattern during tennis match-played simulation in elite junior players between winners and non-winners. *Journal of sports science and health*, 18(2), 29-41.
- O'Donoghue, P., & Ingram, B. (2001). A notational analysis of elite tennis strategy. *Journal of sports sciences*, 19(2), 107-115.

- Reid, M. M., Duffield, R., Minett, G. M., Sibte, N., Murphy, A. P., & Baker, J. (2013). Physiological, perceptual, and technical responses to on-court tennis training on hard and clay courts. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(6), 1487-1495.
- Reid, M., & Elliott, B. (2002). Tennis: The one-and two-handed backhands in tennis. *Sports Biomechanics*, 1(1), 47-68.
- Reid, M., & Schneiker, K. (2008). Strength and conditioning in tennis: current research and practice. *Journal of Science and medicine in Sport*, 11(3), 248-256.
- Reid, M., Morgan, S., & Whiteside, D. (2016). Matchplay characteristics of Grand Slam tennis: implications for training and conditioning. *Journal of sports sciences*, 34(19), 1791-1798.
- Reilly, T., Morris, T., & Whyte, G. (2009). The specificity of training prescription and physiological assessment: A review. *Journal of sports sciences*, 27(6), 575-589.
- Rodríguez, D. S., & Del Valle, M. (2018). High-intensity specific intermittent training (SIT) in the preparation of the tennis player. *Archivos de Medicina del Deporte*, 35(6), 402-408.
- Sangkaew, T., Phongsri, K., Khamros, W., Mohamad, N. I., & Sriramatr, S. (2024). Analysis of ball speed and accuracy of groundstrokes on a clay court in young tennis players. *Journal of Physical Education and Sport*, 24(7), 1788-1794.
- Skene, Matthews. (2013). *The impact of ground reaction force and joint kinematics on the tennis serve of collegiate players* (Degree of Bachelor of science (honors) sport and exercise science), Cardiff Metropolitan University, Cardiff School of Sport.
- Smekal, G., von Duvillard, S. P., Rihacek, C., Pokan, R., Hofmann, P., Baron, R., Tschan, H., & Bachl, N. (2001). A physiological profile of tennis match play. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(6), 999-1005.
- Stadium. (2563). *ไขความต่าง 4 คอร์ท แกรนด์สแลม. สืบค้นจาก*  
<https://stadiumth.com/columns/detail?id=222&tab=inter>

- Starbuck, C., Stiles, V., Urà, D., Carré, M., & Dixon, S. (2017). Biomechanical responses to changes in friction on a clay court surface. *Journal of Science and medicine in Sport*, 20(5), 459-463.
- Takahashi, H., Wada, T., Maeda, A., Kodama, M., Nishizono, H., & Kurata, H. (2006). The relationship between court surface and tactics in tennis using a computerized scorebook. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 6(2), 15-25.
- Vaverka, F., Nykodým, J., Hendl, J., Zhanel, J., & Zahradník, D. (2018). Association between serve speed and court surface in tennis. *International Journal of Performance Analysis in Sport*, 18(2), 262-272.
- Yamamoto, H., Shinya, M., & Kudo, K. (2019). Cognitive bias for the distribution of ball landing positions in amateur tennis players (cognitive bias for the motor variance in tennis). *Journal of motor behavior*, 51(2), 141-150.
- การกีฬาแห่งประเทศไทย. (2564). แผนยุทธศาสตร์การกีฬาแห่งประเทศไทย (พ.ศ. 2564 -2570). สืบค้นจาก <https://www.sat.or.th/wpcontent/uploads/2020/09/2564-2570.pdf>
- เจริญ กระบวนรัตน์. (2557). วิทยาศาสตร์การฝึกสอนกีฬา. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ภัทรวรรณ คหะวงศ์. (2547). คอร์ทไหน ใครเจ๋ง สืบค้นจาก [https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/213\\_61-63.pdf](https://www2.mtec.or.th/th/e-magazine/admin/upload/213_61-63.pdf)
- ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์. (2551). ชีวกลศาสตร์การกีฬา (*Sport biomechanics*) (พิมพ์ครั้งที่ 3). นครปฐม: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยมหิดล.
- อนุชิต เรือนก้อน. (2552). ความสัมพันธ์ระหว่างมุมของการเอนตัวในขณะเสิร์ฟกับความเร็วของลูกเทนนิส. (วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อรรวิทย์ อิงคเตชะ. (2553). ชีวกลศาสตร์การกีฬา (*Sports biomechanics*) (พิมพ์ครั้งที่ 1). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.





ภาคผนวก ก

ใบรับรองการขอจริยธรรมการวิจัยที่ทำในมนุษย์

MF-04-version-2.0  
วันที่ 18 ต.ค. 61



หนังสือรับรองจริยธรรมการวิจัยของข้อเสนอการวิจัย  
เอกสารข้อมูลคำอธิบายสำหรับผู้เข้าร่วมการวิจัยและยินยอม

หมายเลขข้อเสนอการวิจัย SWUEC-G- 275/2565E

ข้อเสนอการวิจัยนี้และเอกสารประกอบของข้อเสนอการวิจัยตามรายการแสดงด้านล่าง ได้รับการพิจารณาจาก คณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒแล้ว คณะกรรมการฯ มีความเห็นว่าข้อเสนอการวิจัยที่จะดำเนินการมีความสอดคล้องกับหลักจริยธรรมสากล ตลอดจนกฎหมาย ข้อบังคับและ ข้อกำหนดภายในประเทศ จึงเห็นสมควรให้ดำเนินการวิจัยตามข้อเสนอการวิจัยนี้ได้

ชื่อโครงการวิจัยเรื่อง: การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬา เทนนิสระดับเยาวชน

ชื่อผู้วิจัยหลัก: นาย ธีรพันธ์ สังข์แก้ว

สังกัด: คณะพลศึกษา

- เอกสารที่รับรอง:
1. แบบเสนอโครงการวิจัย
  2. โครงการวิจัย
  3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย
  4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย

เอกสารที่พิจารณาพบทวน

- |                                             |                                       |
|---------------------------------------------|---------------------------------------|
| 1. แบบเสนอโครงการวิจัย                      | ฉบับที่ 3 วัน/เดือน/ปี 1 สิงหาคม 2565 |
| 2. โครงร่างการวิจัย                         | ฉบับที่ 3 วัน/เดือน/ปี 1 สิงหาคม 2565 |
| 3. เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย          | ฉบับที่ 3 วัน/เดือน/ปี 1 สิงหาคม 2565 |
| 4. หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัย | ฉบับที่ 3 วัน/เดือน/ปี 1 สิงหาคม 2565 |

(ลงชื่อ).....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทันตแพทย์หญิงณปภา เอี่ยมจิตรกุล)

กรรมการและเลขานุการคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

(ลงชื่อ).....

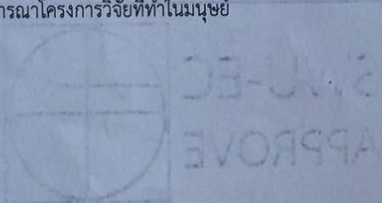
(แพทย์หญิงสุรีพร ภัทรสุวรรณ)

ประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์

หมายเลขรับรอง : SWUEC/E/G-275/2565

วันที่ให้การรับรอง : 01/08/2565

วันหมดอายุใบรับรอง : 01/08/2566





ภาคผนวก ข  
เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย

MF-22-1-version-2.0

วันที่ 28 ธ.ค. 63

**เอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย**  
(Participant Information Sheet)

ในเอกสารนี้อาจมีข้อความที่ท่านอ่านแล้วยังไม่เข้าใจ โปรดสอบถามหัวหน้าโครงการวิจัยหรือผู้แทนให้ช่วยอธิบายจนกว่าจะเข้าใจดี ท่านอาจจะขอเอกสารนี้กลับไปอ่านที่บ้านเพื่อปรึกษาหารือกับญาติพี่น้อง เพื่อนสนิท แพทย์ประจำตัวของท่าน หรือแพทย์ท่านอื่น เพื่อช่วยในการตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัย

**ชื่อโครงการวิจัย** การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน

**ชื่อหัวหน้าโครงการวิจัย** อีวพันธ์ สังข์แก้ว

**สถานที่วิจัย** สถาบันเทนนิสปิรามิด กรุงเทพมหานคร

**สถานที่ทำงานและหมายเลขโทรศัพท์ของหัวหน้าโครงการวิจัยที่ติดต่อได้ทั้งในและนอกเวลาราชการ**

มหาวิทยาลัยทักษิณ เลขที่ 140 หมู่ 4 ถนน กาญจนวณิช ตำบล เขารูปช้าง อำเภอ เมือง

จังหวัด สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000 โทร 084-0688321

**ผู้สนับสนุนทุนวิจัย** -

**ระยะเวลาในการวิจัย** 5 เดือน

**โครงการวิจัยนี้ทำขึ้นเพื่อ**

1. เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนในการติดอุปกรณ์บนพื้นหน้ามือและการติดอุปกรณ์บนหลังมือ ติดทางตรงและติดทางแนวทแยง
2. เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบการตอบสนองทางสรีรวิทยา และตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ระหว่างกลุ่มนักกีฬาที่ชนะและกลุ่มนักกีฬาที่แพ้ ขณะแข่งขันบนพื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดิน
3. เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทางสรีรวิทยาและตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ขณะแข่งขันบนพื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดิน

**ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย**

1. ทำให้ทราบถึงความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนในการติดอุปกรณ์บนพื้นหน้ามือและการติดอุปกรณ์บนหลังมือ ติดทางตรงและติดทางแนวทแยง ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมและการแข่งขัน
2. ทำให้ทราบถึงผลของการตอบสนองทางสรีรวิทยา และชีวกลศาสตร์ของนักกีฬาทิ้งสองขาขณะแข่งขันบนพื้นสนามเทนนิสแบบพื้นดิน ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อมและการแข่งขัน

**ท่านได้รับเชิญให้เข้าร่วมการวิจัยนี้เพราะ** เป็นนักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 ของประเทศไทย

**จะมีผู้เข้าร่วมการวิจัยนี้ทั้งสิ้นประมาณ 16 คน แบ่งการศึกษาเป็น 2 ระยะ คือ**

การวิจัยระยะที่ 1 ทดสอบความแม่นยำและความคลาดเคลื่อน

การวิจัยระยะที่ 2 จำลองการแข่งขันเทนนิส

### หากท่านตัดสินใจเข้าร่วมการวิจัยแล้ว จะมีขั้นตอนการวิจัยดังต่อไปนี้คือ

งานวิจัยครั้งนี้ใช้การวิจัยเชิงทดลอง กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาเทนนิส เพศชาย อายุ 14-16 ปี ที่เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 จากการจัดอันดับและรับรองโดยสมาคมกีฬาเทนนิสแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ จำนวน 16 คน ซึ่งในการเก็บข้อมูลทุกครั้งจะมีผู้ช่วยในการเก็บข้อมูลจำนวน 5 คน สนามเทนนิสที่ขึ้นคินเป็นสนามในร่ม กำหนดการเก็บข้อมูลในช่วงเช้า 09.00 – 12.00 น. เพื่อควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศให้อยู่ในสภาวะที่ใกล้เคียงกัน

#### การเข้าทดสอบ ณ สนามเทนนิส ครั้งที่ 1

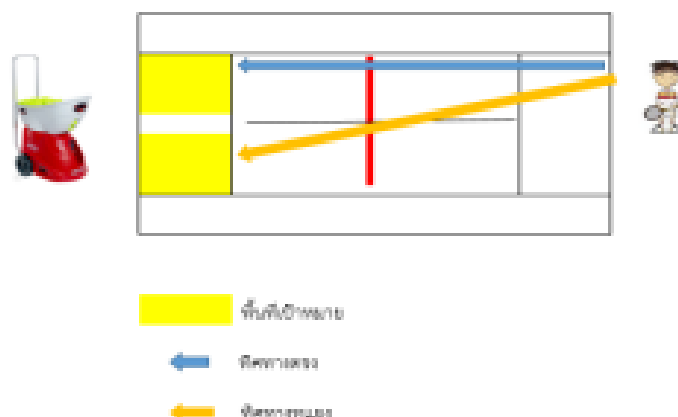
กลุ่มตัวอย่างจะดำเนินการฝึกซ้อมหนักอย่างน้อย 24 ชั่วโมง โดยเริ่มทำการทดสอบข้อมูลพื้นฐานตามรายการต่อไปนี้ น้ำหนักตัว ส่วนสูง ดัชนีมวลกาย อัตราการเต้นของชีพจรขณะพัก และการใช้ออกซิเจนสูงสุด ด้วยแบบทดสอบ Hit and Turn Tennis Test (HTTT) ก่อนเริ่มการทดลองในระยะที่ 1

#### การเข้าทดสอบ ณ สนามเทนนิส ครั้งที่ 2

เป็นการวิจัยระยะที่ 1 เพื่อทดสอบความแม่นยำจากการตีลูกหน้ามือและลูกหลังมือ ขึ้นตอนจะประกอบด้วย

1. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางตรง ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จำนวน 10 บอล จากเครื่องยิงบอลอัตโนมัติตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด
2. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางแยง ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จำนวน 10 บอล จากเครื่องยิงบอลอัตโนมัติตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด
3. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางตรง ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จำนวน 10 บอล จากเครื่องยิงบอลอัตโนมัติตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด
4. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางแยง ด้วยความเร็ว 20 เมตรต่อวินาที จำนวน 10 บอล จากเครื่องยิงบอลอัตโนมัติตามเป้าหมายที่ผู้วิจัยกำหนด

ทำการเก็บข้อมูล 2 วันๆ ละ 8 คน ทัก 48 ชั่วโมงก่อนการทดลองระยะที่ 2 (ถึงภาพประกอบ 1 และตารางที่ 1)



ภาพประกอบ 1 แบบทดสอบความแม่นยำและความคลาดเคลื่อนจากการตีลูกหน้ามือและลูกหลังมือ

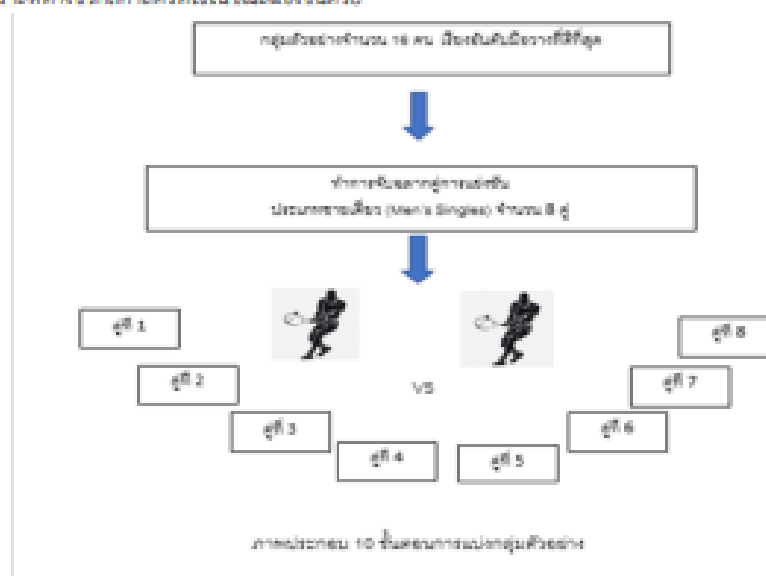
ตาราง 1 แสดงทักษะการตีที่สนใจศึกษา

| ทักษะการตีลูกหน้ามือกระดอนพื้น  | ทักษะการตีลูกหลังมือกระดอนพื้น  |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางตรง | 1. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางตรง |
| 2. การวิ่งตีบอลหน้ามือทิศทางแยง | 2. การวิ่งตีบอลหลังมือทิศทางแยง |

**การเข้าทดสอบ ณ สนามเทนนิส ครั้งที่ 3**

เป็นการวิจัยระยะที่ 2 จำลองการแข่งขันเทนนิส โดยการจำลองการแข่งขันเทนนิสเพื่อต้องการให้นักกีฬาแสดงความสามารถได้อย่างเต็มที่และวิจัยสามารถเก็บข้อมูลได้ใกล้เคียงกับสถานการณ์การแข่งขันจริงมากที่สุด โดยจะจัดการแข่งขันบนที่สนามเทนนิสแบบพื้นดิน

**ขั้นตอนที่ 1** ผู้วิจัยจำลองการแข่งขันโดยใช้การแข่งขันในระบบ 2:3 เซต, ตัวซัปกัตติ (คือท่างัด 2 แฉ้ม), เกมไทเบรก (หากผู้เล่นเสมอกันที่ 6:6 เกมเท่าจะเล่นไทเบรกในเกมที่ 13) การพักระหว่างแฉ้ม ไม่เกิน 20 วินาที การพักระหว่างเกมไม่เกิน 90 วินาที และการพักระหว่างเซต ไม่เกิน 120 วินาที ทำการจับสลากคู่การแข่งขันประเภทชายเดี่ยว จำนวน 8 คู่ (คู่ที่ 1, คู่ที่ 2, ... จนถึง คู่ที่ 8 ตามลำดับ) โดยการแข่งขึ้นคู่แรกเริ่มในเวลา 09.00 น. (ถึงภาพประกอบ 10) โดยจัดการแข่งขันให้ใกล้เคียงกับสถานการณ์การแข่งขันจริงมากที่สุด มีผู้ตัดสินเทนนิสที่มีประสบการณ์ในการตัดสิน นอกจากนั้นผู้วิจัยยังได้กำหนดส่วนของรางวัลสำหรับผู้ชนะเพื่อเป็นแรงจูงใจที่จะทำให้นักกีฬาเทนนิสเล่นเต็มความสามารถ ผู้วิจัยจะทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจตลอดการแข่งขัน และทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวตลอดการแข่งขันด้วยกล้องวิดีโอ เพื่อนำข้อมูลไปวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ที่ใช้ในขณะแข่งขันด้วย



**ขั้นตอนที่ 2** การวัดค่าความต้องการทางสรีรวิทยา ผู้วิจัยติดตั้งเซ็นเซอร์บริเวณหน้าอกของกลุ่มตัวอย่าง เพื่อทำการวัดอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด อัตราการเต้นของหัวใจโดยเฉลี่ย และระดับความหนักของกิจกรรม ในขณะแข่งขันทุกคู่การแข่งขัน โดยจะทำการวัดค่าดังกล่าวตั้งแต่เริ่มต้นตลอดจนสิ้นสุดการแข่งขันในแต่ละเซต

MF-20-3-version-2.0

วันที่ 18 มี.ค. 63

**ขั้นตอนที่ 3** การวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์ ในขั้นตอนนี้ผู้วิจัยต้องการศึกษารูปร่างเรื่อ, จำนวนครั้งของการวิ่งเร็ว และระยะทางรวมที่ใช้ในขณะแข่งขันเทนนิสบนพื้นสนามแบบพื้นดิน โดยผู้วิจัยจะทำการติดตั้งเครื่องมือ Polar Team Pro ไว้กับตัวนักกีฬา และติดตั้งกล้องวิดีโอสำหรับบันทึกการแข่งขันฝั่งละ 1 ตัว รวมทั้งสิ้น 2 ตัว โดยวางไว้ที่กลางบริเวณเส้นท้ายคอร์ท ห่างจากเส้นท้ายคอร์ท 3 เมตรและไม่รบกวนการแข่งขันของนักกีฬา พร้อมบันทึกภาพการแข่งขันในแต่ละคู่ตั้งแต่เริ่มต้นจนสิ้นสุดการแข่งขัน เพื่อนำข้อมูลไปใส่ภาพเคลื่อนไหวที่บันทึกขณะแข่งขันมาวิเคราะห์ต่อไป

สำหรับการนัดหมายการเข้าร่วมการวิจัยจะนัดหมายจำนวน 3 ครั้ง ครั้งละ 2 ชั่วโมงรวมระยะเวลาที่ท่านต้องร่วมอยู่ในโครงการวิจัย 6 ชั่วโมง

#### **ความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นเมื่อเข้าร่วมการวิจัย**

อาจเกิดอาการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อและข้อต่อจากการหักล้ม เนื่องจากสนามเทนนิสแบบพื้นดินมีความชันมากกว่าสนามเทนนิสพื้นแข็ง นักกีฬาอาจไม่คุ้นชินกับสภาพพื้นสนาม อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้เตรียมเจ้าหน้าที่ในการรักษาพยาบาลเบื้องต้นหากกลุ่มตัวอย่างได้รับบาดเจ็บ และถ้าเจ็บให้กลุ่มตัวอย่างต้องมีการอบอุ่นร่างกายก่อนและหลังการแข่งขันทุกครั้ง กรุณาแจ้งผู้ทำวิจัยในกรณีที่เกิดอาการบาดเจ็บระหว่างที่อยู่ในโครงการวิจัย ขอให้ท่านรายงานให้ผู้ทำวิจัยทราบโดยเร็วเพื่อปฐมพยาบาลเบื้องต้น

หากท่านไม่เข้าร่วมในโครงการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบต่อนหน้าที่การปฏิบัติงานใดๆ ของท่าน หรือส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอน การประเมินผลการเรียนของนิสิตแต่อย่างใด

หากมีข้อสงสัยที่จะสอบถามเกี่ยวข้องกับกรวิจัย หรือหากเกิดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์จากการวิจัย ท่านสามารถติดต่อ อีฟีนส์ สังข์แก้ว โทรศัพท์ 084-0688321

ท่านจะได้รับ的帮助หรือดูแลรักษาการบาดเจ็บ/เจ็บป่วยอื่นเนื่องมาจากการวิจัยตามมาตรฐานทางการแพทย์ โดยผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายในการรักษาคือ อีฟีนส์ สังข์แก้ว  
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย

1. การเผยแพร่ผลการวิจัยให้แก่ผู้สนใจ หรือผู้ฝึกสอนในการนำไปประยุกต์ใช้ในการฝึกซ้อม

ค่าตอบแทนที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะได้รับ ค่าเดินทางแบบรถเมล์ 500 บาท

ค่าใช้จ่ายที่ผู้เข้าร่วมการวิจัยจะต้องรับผิดชอบเอง ไม่มี

หากมีข้อมูลเพิ่มเติมทั้งด้านประโยชน์และโทษที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะแจ้งให้ทราบโดยรวดเร็วและไม่บิดเบือน

ข้อมูลส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการวิจัย จะถูกเก็บรักษาไว้โดยไม่เปิดเผยต่อสาธารณะเป็นรายบุคคล แต่จะรายงานผลการวิจัยเป็นข้อมูลส่วนรวมโดยไม่สามารถระบุข้อมูลรายบุคคลได้ ข้อมูลของผู้เข้าร่วมการวิจัยเป็นรายบุคคล อาจมีคณะบุคคลบางกลุ่มเข้ามาตรวจสอบได้ เช่น ผู้ให้ทุนวิจัย สถาบัน หรือองค์กรของรัฐที่มีหน้าที่ตรวจสอบ รวมถึงคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนมีหน้าที่ตรวจสอบได้

หากเจ้านิสิทธิ์ถอนตัวออกจากโครงการวิจัยเมื่อใดก็ได้ โดยไม่ต้องแจ้งให้ทราบล่วงหน้า และการไม่เข้าร่วมการวิจัย หรือถอนตัวออกจากโครงการวิจัยนี้ จะไม่มีผลกระทบต่อนหน้าที่การปฏิบัติงานใดๆ ของท่าน หรือส่งผลกระทบต่อการเรียนการสอน การประเมินผลการเรียนของนิสิต ท่านมีสิทธิ์ที่จะไม่เข้าร่วมการวิจัยก็ได้โดยไม่ต้องแจ้งเหตุผล

หากท่านได้รับการปฏิบัติที่ไม่ตรงตามที่ได้ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงนี้ ท่านสามารถแจ้งให้ประธานคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนทราบได้ที่ สำนักงานคณะกรรมการการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบัน

MS-35-1-version-2.0

วันที่ 18 ต.ค. 61

ยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย อาคารศาสตราจารย์ ดร.สาโรช บัวศรี ชั้น 20 โทร (02) 649-5000 ต่อ 11019  
โทรสาร: (02) 259-1822

ลงชื่อ.....ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัย  
(.....)  
วันที่.....





ภาคผนวก ค

หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย

หนังสือให้ความยินยอมเข้าร่วมในโครงการวิจัย  
(Informed Consent Form)

วันที่ .....

ข้าพเจ้า.....อายุ.....ปี อยู่บ้านเลขที่.....ถนน.....หมู่ที่.....  
แขวง/ตำบล.....เขต/อำเภอ.....จังหวัด.....  
โทรศัพท์.....

ขอทำหนังสือนี้ให้ไว้ต่อหัวหน้าโครงการวิจัยเพื่อเป็นหลักฐานแสดงว่า

ข้อ 1. ข้าพเจ้า ได้รับทราบโครงการวิจัยของ นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว

เรื่อง การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน

ข้อ 2. ข้าพเจ้า ยินยอมเข้าร่วมโครงการวิจัยด้วยความสมัครใจ โดยมิได้มีการบังคับขู่เข็ญ หลอกลวงแต่ประการใด และจะให้ความร่วมมือในการวิจัยทุกประการ

ข้อ 3. ข้าพเจ้า ได้รับการอธิบายจากผู้วิจัยเกี่ยวกับวัตถุประสงค์ของการวิจัย วิธีการวิจัย ประสิทธิภาพ ความปลอดภัย อาการหรืออันตรายที่อาจเกิดขึ้น รวมทั้งแนวทางป้องกัน และแก้ไข หากเกิดอันตราย ค่าตอบแทนที่จะได้รับ ค่าใช้จ่ายที่ข้าพเจ้าจะต้องรับผิดชอบจ่ายเอง โดยได้อ่านข้อความที่มีรายละเอียดอยู่ในเอกสารชี้แจง ผู้เข้าร่วมโครงการวิจัยโดยตลอด อีกทั้งยังได้รับคำอธิบายและตอบข้อสงสัยจากหัวหน้าโครงการวิจัยเป็นที่เรียบร้อยแล้ว และตกลงรับผิดชอบตามคำรับรองในข้อ 5 ทุกประการ

ข้อ 4. ข้าพเจ้า ได้รับการรับรองจากผู้วิจัยว่าจะเก็บข้อมูลส่วนตัวของข้าพเจ้าเป็นความลับ จะเปิดเผยเฉพาะผลสรุปการวิจัยเท่านั้น

ข้อ 5. ข้าพเจ้า ได้รับทราบจากผู้วิจัยแล้วว่า หากมีอันตรายใด ๆ อันเกิดขึ้นจากการวิจัยดังกล่าว ข้าพเจ้าจะได้รับ การรักษาพยาบาลจากคณะผู้วิจัย โดยไม่คิดค่าใช้จ่ายและจะได้รับค่าชดเชยรายได้ที่สูญเสียไปในระหว่างการรักษาพยาบาลดังกล่าว ตลอดจนมีสิทธิได้รับค่าทดแทนความพิการที่อาจเกิดขึ้นจากการวิจัยตามสมควร

ข้อ 6. ข้าพเจ้า ได้รับทราบแล้วว่าข้าพเจ้ามีสิทธิจะบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัยนี้ และการบอกเลิกการร่วมโครงการวิจัยจะไม่มีผลกระทบต่อการดูแลรักษาโรคที่ข้าพเจ้าจะพึงได้รับต่อไป

ข้อ 7. หากข้าพเจ้ามีข้อข้องใจเกี่ยวกับขั้นตอนของการวิจัย หรือหากเกิดผลข้างเคียงที่ไม่พึงประสงค์จากการวิจัย สามารถติดต่อกับ นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว มหาวิทยาลัยทักษิณ โทรศัพท์ 084-0688321

ข้อ 8. หากข้าพเจ้า ได้รับการปฏิบัติไม่ตรงตามที่ระบุไว้ในเอกสารชี้แจงผู้เข้าร่วมการวิจัย ข้าพเจ้าจะสามารถติดต่อ กับประธานคณะกรรมการจริยธรรมสำหรับการพิจารณาโครงการวิจัยที่ทำในมนุษย์หรือผู้แทน ได้ที่สถาบันยุทธศาสตร์ทางปัญญาและวิจัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ โทรศัพท์ 02-649-5000 ต่อ 11019

/ ข้าพเจ้า.....

MF-10-2-version-2.0

วันที่ ๘ ธ.ค. ๕๕

ข้าพเจ้าได้อ่านและเข้าใจข้อความตามหนังสือนี้โดยตลอดแล้ว เห็นว่าถูกต้องตามเจตนาของข้าพเจ้า  
จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นสำคัญพร้อมกับหัวหน้าโครงการวิจัยและคือนายพยาน

ลงชื่อ .....

(.....)

ผู้ยินยอม / ผู้แทนโดยชอบธรรม

ลงชื่อ .....

(นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว)

ผู้ให้ข้อมูลและขอความยินยอม/หัวหน้าโครงการวิจัย

ลงชื่อ .....พยาน

(.....)

ลงชื่อ .....พยาน

(.....)

ในการนี้ผู้เข้าร่วมการวิจัย อ่านหนังสือไม่ออก ผู้ที่อ่านข้อความทั้งหมดแทนผู้เข้าร่วมการวิจัยคือ.....  
จึงได้ลงลายมือชื่อไว้เป็นพยาน

ลงชื่อ .....พยาน

(.....)

#### หมายเหตุ

1. ในการนี้ผู้ให้ความยินยอมมีอายุไม่ครบ 18 ปีบริบูรณ์ จะต้องเป็นผู้ปกครองตามกฎหมายเป็นผู้ให้ความยินยอมด้วย หรือผู้ปวยที่ไม่สามารถแสดงความยินยอมได้ด้วยตนเอง จะต้องเป็นผู้มีอำนาจทำการแทน เป็นผู้ให้ความยินยอม
2. กรณีผู้ยินยอมคนให้ทำวิจัย ไม่สามารถอ่านหนังสือได้ ให้ผู้วิจัยอ่านข้อความในหนังสือให้ความยินยอมนี้ให้แก่ผู้ยินยอมคนให้ทำวิจัยฟังจนเข้าใจแล้ว และให้ผู้ยินยอมคนให้ทำวิจัยลงนาม หรือพิมพ์ลายนิ้วหัวแม่มือรับทราบ ในการให้ความยินยอมดังกล่าวด้วย



ภาคผนวก ง

เอกสารขอความอนุเคราะห์นักกีฬาเข้าร่วมการวิจัย

ที่ อว 8718/



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

วันที่ .....

เรื่อง ขออนุมัติขอความเห็นชอบเพื่อการวิจัย

เรียน นายกสภามหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒในพระบรมราชูปถัมภ์

เนื่องด้วย นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน” โดยมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมัต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้ นักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 ของประเทศไทย จำนวน 16 คน ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ให้นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(.....)

(.....)

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 084-0688321

ที่ อว 8718/



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

วันที่ .....

เรื่อง ขออนุมัติขอความเห็นชอบข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันสอนเทนนิส TROOPS TENNIS ACADEMY

เนื่องด้วย นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน” โดยมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละม้าย อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขออนุมัติขอความเห็นชอบข้อมูล โดยใช้ นักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 ของประเทศไทย จำนวน 16 คน ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขออนุมัติให้นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(.....)

(.....)

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 084-0688321



ที่ อว 8718/



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

วันที่ .....

เรื่อง ขออนุมัติขอความเห็นชอบข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันสอนเทนนิส SMASH IT TENNIS ACADEMY

เนื่องด้วย นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง “การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน” โดยมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมัต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขออนุมัติขอความเห็นชอบข้อมูล โดยใช้นักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 ของประเทศไทย จำนวน 16 คน ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขออนุมัติให้นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(.....)

(.....)

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 084-0688321

ที่ อว 8718/



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

วันที่ .....

เรื่อง ขออนุมัติขอความเห็นชอบเพื่อการจัด

เรียน ผู้ฝึกสอนกีฬาเทนนิส

เนื่องด้วย นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาโท เรื่อง “การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน” โดยมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมัต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้นักกีฬาเทนนิสเพศชายที่มีอายุระหว่าง 14-16 ปี เคยเข้าร่วมการแข่งขันเทนนิสเยาวชนชิงชนะเลิศแห่งประเทศไทยอย่างน้อย 3 ปี หรือมีคะแนนสะสมอยู่ในอันดับที่ 1-20 ของประเทศไทย จำนวน 16 คน ซึ่งอยู่ในความดูแลของท่าน ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ให้นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(.....)

(.....)

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 084-0688321

ภาคผนวก จ  
เอกสารขอความอนุเคราะห์สถานที่ในการเก็บข้อมูลการวิจัย



ที่ อว 8718/



บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ  
114 สุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ  
เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

วันที่ .....

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย

เรียน ผู้อำนวยการสถาบันเทคนิสนิสิต

เนื่องด้วย นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว นิสิตระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและการออกกำลังกาย คณะพลศึกษา มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ได้รับอนุมัติให้ทำปริญญาโท เรื่อง “การตอบสนองทางสรีรวิทยาและชีวกลศาสตร์ในการแข่งขันเทนนิสบนพื้นดินของนักกีฬาเทนนิสระดับเยาวชน” โดยมี

รองศาสตราจารย์ ดร.สนธยา สีละมาต อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

อาจารย์ ดร.เกริกวิทย์ พงศ์ศรี อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ในการนี้ นิสิตขอความอนุเคราะห์เก็บข้อมูล โดยใช้สถานที่เพื่อเก็บข้อมูลซึ่งเป็นสนามเทนนิสแบบพื้นดินที่ได้มาตรฐาน ระหว่างเดือนสิงหาคม ถึงเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2565 ทั้งนี้ นิสิตจะเป็นผู้ประสานงานในรายละเอียดดังกล่าวต่อไป

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาขอความอนุเคราะห์ให้นายธีรพันธ์ สังข์แก้ว และขอขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอแสดงความนับถือ

(.....)

(.....)

สำนักงานคณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

โทร. 0 2649 5064

หมายเหตุ : สอบถามข้อมูลเพิ่มเติมกรุณาติดต่อ นิสิต โทรศัพท์ 084-0688321



ภาคผนวก จ  
เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูล



เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจแบบไร้สาย พร้อมอุปกรณ์ประกอบ (Polar H10)



เครื่องชั่งน้ำหนัก (Omron รุ่น HBF-224)



กล้องบันทึกภาพเคลื่อนไหว พร้อมขาตั้งกล้อง (Samsung รุ่น HMX-H320BP)



เครื่องปล่อยบอลอัตโนมัติ (Lobster รุ่น Elite 2)

**SET No. 3**

**Game**

☐ 1st  
☐ 2nd  
☐ 3rd  
☐ 4th  
☐ 5th  
☐ 6th  
☐ 7th  
☐ 8th  
☐ 9th  
☐ 10th  
☐ 11th  
☐ 12th  
☐ 13th  
☐ 14th  
☐ 15th  
☐ 16th

**Game No.**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game No.**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game No.**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game No.**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game No.**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9  
☐ 10  
☐ 11  
☐ 12  
☐ 13  
☐ 14  
☐ 15  
☐ 16

**Game**

☐ 1  
☐ 2  
☐ 3  
☐ 4  
☐ 5  
☐ 6  
☐ 7  
☐ 8  
☐ 9

OFFICIAL SCORECARD

| EVENT      |                                     |                                                                                                                                                              |             |            |
|------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|
| Tournament | Round                               | Count Back                                                                                                                                                   | Umls        |            |
| Event      | No. of sets                         | <input type="checkbox"/> Normal<br><input type="checkbox"/> Tie-break all sets<br><input type="checkbox"/> Match Tie-break<br><input type="checkbox"/> No Ad |             |            |
| Supervisor | Sex<br><input type="checkbox"/> Yes | Ball change (number)                                                                                                                                         | Line umpire |            |
| Referee    | Chair Umpire                        |                                                                                                                                                              |             | Net Umpire |

| MATCH     |         | FLIP |       |
|-----------|---------|------|-------|
| Player(s) | Country | Year | Event |
|           |         |      |       |

| VS.       |         | FLIP |       |
|-----------|---------|------|-------|
| Player(s) | Country | Year | Event |
|           |         |      |       |

| <b>RESULT</b> |              |               |                    |  |  |
|---------------|--------------|---------------|--------------------|--|--|
| Time called   | Time started | Time finished | Duration           |  |  |
| (Minutes)     |              |               | <b>MATCH SCORE</b> |  |  |
|               |              |               | <b>TIE BREAK</b>   |  |  |

Copyright © ITP Limited, trading as the International Tennis Federation, 2002.

|             |               |
|-------------|---------------|
| CHAIKUMPHI: |               |
| Signature   | Certification |

[illegible][illegible]

ไบบันท์กคะแนน (ITF Scorecard)



ภาคผนวก ช  
ภาพประกอบการดำเนินการทดลอง







ประวัติผู้เขียน

