ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด
ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส

นางสาว ปาจรีย์ ศรีสมบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเวชศาสตร์การกีฬา
คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2547
ISBN 974-17-6968-7
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

RELATIONSHIP BETWEEN TIME FROM MAXIMAL HEIGHT TO IMPACT AND BALL VELOCITIES OF SERVE DURING A TENNIS MATCH

Miss Pajaree Srisombut

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science Program in Sports Medicine
Faculty of Medicine
Chulalongkorn University
Academic Year 2004

ISBN 974-17-6968-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส
โดย	นางสาว ปาจรีย์ ศรีสมบัติ
สาขาวิชา	เวชศาสตร์การกีฬา
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์นายแพทย์ ดร. ภาสกร วัธนธาดา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์นายแพทย์พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์

คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะแพทยศาสตร์
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ ภิรมย์ กมลรัตนกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์นายแพทย์ มีชัย ศรีใส)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์นายแพทย์ ภาสกร วัธนธาดา)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์นายแพทย์ พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นายแพทย์ สมพล สงวนรังศิริกุล)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปาจรีย์ ศรีสมบัติ : ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส. (RELATIONSHIP BETWEEN TIME FROM MAXIMAL HEIGHT TO IMPACT AND BALL VELOCITIES OF SERVE DURING A TENNIS MATCH) อ. ที่ปรึกษา : อ.นพ.ดร. ภาสกร วัธนธาดา, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.นพ. พงศ์ศักดิ์ ยุกตะนันทน์ 84 หน้า. ISBN 974-17-6968-7.

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส และวัตถุประสงค์รองเพื่อศึกษาปัจจัยที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของผู้เสิร์ฟที่มีผลต่อความเร็วของการเสิร์ฟเทนนิส โดยทำการเก็บข้อมูลระหว่างการแข่งขันด้วยกล้องความถี่ 50 Hz 4 ตัว เพื่อบันทึกภาพการเสิร์ฟในการแข่งขันของนักเทนนิสทั้งสองคนที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัย ซึ่งมีการกำหนดตำแหน่งของจุดพิกัดทั้ง 23 จุดบนภาพนักกีฬา ไม้เทนนิส และ ลูกเทนนิส เพื่อคำนวณหาจุดพิกัดแบบสามมิติ

จากสมมติฐานที่ว่าถ้าระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้น้อย ความเร็วของลูกเสิร์ฟน่าจะมีค่าสูง ผลการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ของระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟเป็นไปตามสมมติฐานหนึ่งคนและตรงข้ามกับสมมติฐานหนึ่งคน อย่างไรก็ตามความสัมพันธ์ของตัวแปรทั้งสองอยู่ในระดับที่ต่ำมาก

จากการวิเคราะห์ด้วย Step-wise multiple regression พบว่า ความเร็วเชิงมุมของการหมุนเข้าของข้อไหล่สูงสุดเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับความเร็วของลูกเสิร์ฟในนักกีฬาคนที่ 1 ทั้งในการเสิร์ฟครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 ได้ 13% ส่วนในนักกีฬาคนที่ 2 ความเร็วเชิงมุมของการเหยียดข้อไหล่สูงสุดเป็นตัวพยากรณ์ที่สามารถอธิบายความสัมพันธ์กับความเร็วของลูกเสิร์ฟลูกที่ 2 ของนักกีฬาคนที่ 2 ในการแข่งขันได้ 19 %

สาขาวิชา...เวชศาสตร์การกีฬา..... ลายมือชื่อนิสิต.....

ปีการศึกษา...2548..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4475238030 : MAJOR SPORTS MEDICINE

KEY WORD: TIME FROM MAXIMAL HEIGHT TO IMPACT/ BALL VELOCITIES/ SERVE/ TENNIS MATCH

PAJAREE SRISOMBUT : RELATIONSHIP BETWEEN TIME FROM MAXIAL HEIGHT TO IMPACT AND BALL VELOCITIES OF SERVE DURING A TENNIS MATCH. THESIS ADVISOR : PASAKORN WATANATADA, M.D., Ph.D., THESIS COADVISOR : ASSOC.PROF. PONGSAK YUKTANANDANA, M.D., 84 pp. ISBN 974-17-6968-7.

The primary objective of this study was to examine the relationship between time from maximal height to impact and ball velocities of serve during a tennis match. The second objective was to investigate body movement factors of tennis serve contributing ball velocities. Data was collected during a tennis match using 4 high-speed cameras (50 Hz). All serves in play was analysed for both subjects. Position of 23 landmarks on each player, racket and ball were manually digitized and calculated for three-dimensional co-ordinates.

Based on our hypothesis, tennis serve with less time form maximal height to impact should associate with high velocities of tennis serve. While the result of a player' serves confirmed the hypothesis, the result of another player' serves refuted the hypothesis. However, the relationship of the time from maximal height to impact and serve velocities was very low.

A stepwise multiple regress showed that maximal angular velocities of shoulder internal rotation was the best predictor contributing 13% of ball velocities for the first and second serve of the first player and maximal angular velocities of elbow extension was the best predictor contributing 19 % of ball velocities for the second serve of the second player.

Field of study...Sports Medicine..... Student's signature.....Pajaree Srisombut.....

Academic year 2004..... Advisor's signature.....P. Watanatada.....

Co-advisor's signature.....Pongsak Yuktanandana.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ผู้มีพระคุณทุกท่าน โดยเฉพาะ อ.นพ.ดร.ภาสกร วัธนธาดา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และรศ.นพ.พงศักดิ์ ยุกตะนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งได้ให้คำปรึกษา คำแนะนำตลอดจนช่วยแก้ปัญหาต่าง ๆ ระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมถึงคณะกรรมการวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่กรุณาให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ รวมถึงอาจารย์ทุกท่านที่อบรมสั่งสอนให้ความรู้ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณอย่างสูงยิ่งและขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณอ.ดร.สุวัตร สิทธิหล่อ ผู้อำนวยการสำนักวิทยาศาสตร์การกีฬา กระทรวงการท่องเที่ยวและการกีฬา ที่กรุณาอนุเคราะห์สถานที่ ตลอดจนเครื่องมือในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล และขอกราบขอบพระคุณผศ.นพ.สมพล สงวนรังศิริกุล ที่กรุณาเป็นกำลังใจ และให้ความช่วยเหลือผู้วิจัยทุกด้านจนผ่านพ้นปัญหาต่าง ๆ มาได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ศ.ดร.กิตติ อินทรานนท์ ที่กรุณาแนะนำและเปิดโอกาสให้เรียนรู้การใช้เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์ รศ.นพ.ไพโรจน์ วิทูรพณิชย์ และผศ.ดร.วิทยา วัณณสุโภประสิทธิ์ ที่กรุณาช่วยประสานงานจนทุกอย่างลุล่วงด้วยดี อ.นันทกฤษณ์ ยอดพิจิตร ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่อนุเคราะห์เครื่องมือในการทำวิทยานิพนธ์และสละเวลาของท่านช่วยดูแลตลอดช่วงการเก็บข้อมูล ผศ. วิชัย เยี่ยงวีรชน ภาควิชาวิศวกรรมสำรวจ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ และอนุเคราะห์เครื่องมือทางด้านวิศวกรรมสำรวจ

ขอขอบคุณ บริษัท อีเอสอาร์ไอ (ประเทศไทย) จำกัด ที่เอื้อเฟื้อกล้องสำรวจ ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่กระทรวงการท่องเที่ยวและการกีฬาที่อำนวยความสะดวกในการเก็บและวิเคราะห์ข้อมูล

ขอขอบคุณ คุณประจวบ กล่อมจิตร คุณธนาวดี คุวสานนท์ที่ให้คำแนะนำและให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้เครื่องมือ คุณชาญวุฒิ อออุดมยุทธ และคุณภีระ ยมวัน ที่ให้ความช่วยเหลือด้านวิศวกรรมสำรวจในการเก็บข้อมูลอย่างไม่รู้จักเหน็ดเหนื่อย และขอขอบคุณนักกีฬา ผู้ปกครองนักกีฬา กรรมการตัดสินการแข่งขันและผู้ช่วยในสนาม ตลอดจนทุก ๆ ท่านที่สละเวลาและให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลครั้งนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณนิสิตปริญญาโทสาขาเวชศาสตร์การกีฬาทุกคน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเวชศาสตร์การกีฬารุ่นที่ 6 รวมถึงเพื่อน ๆ ทุกคน และเจ้าหน้าที่กองวิจัยการส่งเสริมกีฬา การกีฬาแห่งประเทศไทยที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ ให้ความสะดวกและเป็นกำลังใจเสมอมา

เหนือสิ่งอื่นใด ขอกราบขอบพระคุณคุณพ่อวินัย และคุณแม่ดัชนี ที่เลี้ยงดูจนเติบใหญ่ คอยให้กำลังใจและสนับสนุนทุกด้านจนสำเร็จการศึกษาด้วยดี และคุณน้าชุรีย์ สินพรชัยที่ดูแลและให้กำลังใจเสมอมา

ขอขอบคุณ ทบวงมหาวิทยาลัยและการกีฬาแห่งประเทศไทย ที่มอบทุนอุดหนุนการทำวิจัยชิ้นนี้

ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความเมตตากรุณาของทุกท่านดังที่ได้กล่าวมาแล้วและผู้ที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ที่มีส่วนช่วยเหลือตั้งแต่เริ่มต้นการศึกษาจนสามารถทำวิทยานิพนธ์ลุล่วงได้ด้วยดี จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1. บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

คำถามการวิจัย 3

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 3

ขอบเขตของการวิจัย 3

ข้อตกลงเบื้องต้น 3

ข้อจำกัดของการวิจัย 4

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5

2. เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเสิร์ฟเทนนิส 6

จังหวะของการเสิร์ฟ 8

ประเภทของการเสิร์ฟเทนนิส 8

ความรู้ทางฟิสิกส์เบื้องต้นเกี่ยวกับการเสิร์ฟเทนนิส 10

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสิร์ฟเทนนิส 11

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20

3. วิธีดำเนินงานวิจัย 24

ประชากร 24

เกณฑ์การคัดเลือกเข้ามาศึกษา 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

เกณฑ์การคัดออกจากการศึกษา 24
เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย 25
หลักการในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว 28
หลักการของการคัดกรองข้อมูล 29
การเก็บรวบรวมข้อมูล 31
การวิเคราะห์ข้อมูล 46

4. ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 47
ตอนที่ 1 แสดงข้อมูลเบื้องต้นของนักเทนนิสที่เข้าร่วมการศึกษาวิจัย 48
ตอนที่ 2 แสดงข้อมูลทั่วไปของการแข่งขัน 48
ตอนที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสขณะที่ลูกลอยสูงสุด
ถึงลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส 50
ตอนที่ 4 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ 53

5. สรุปผลการวิจัย อภิปราย และข้อเสนอแนะ 58
สรุปผลการวิจัย 58
อภิปรายผลการวิจัย 60
ข้อเสนอแนะ 62

รายการอ้างอิง 63

ภาคผนวก 66
ภาคผนวก ก รายละเอียดโครงการวิจัยและใบยินยอมเข้าร่วมโครงการ 67
ภาคผนวก ข National tennis rating program 71
ภาคผนวก ค การต่อเชื่อมสายเคเบิลของกล้องเข้ากับเครื่องกำหนดเวลาบนภาพ
และเครื่อง Synchronized unit 73
ภาคผนวก ง ข้อมูลการเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส 74

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 84

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะโดยทั่วไปของนักกีฬาและอุปกรณ์ที่ใช้ในการแข่งขัน 48
ตารางที่ 4.2 แสดงเปอร์เซ็นต์การเสิร์ฟของนักเทนนิสแต่ละคนในแต่ละเซทของการแข่งขัน 49
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของความเร็วของลูกเสิร์ฟ 49
ตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด
ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส 50
ตารางที่ 4.5 แสดงลำดับการเกิดความเร็วเชิงมุมสูงสุดก่อนที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ 53
ตารางที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ
ในการแข่งขันเทนนิส 57

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หน้า

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการโยนและการแอ่นตัวที่แตกต่างกันในการเสิร์ฟลูกตรง ลูกหมุนออกข้าง และลูกอเมริกันทวิสท์ 9
ภาพที่ 2.2 แสดงทิศทางการกระดอนของการเสิร์ฟลูกตรง ลูกหมุนออกข้าง และลูกอเมริกันทวิสท์ 10
ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะก่อนและหลังจากที่ลูกกระทบหน้าไม้ในสภาพวะที่ลูกเทนนิสถูกยิงเข้าหาไม้เทนนิสที่หยุดนิ่ง 12
ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะก่อนและหลังจากลูกกระทบหน้าไม้ในสภาวะที่ไม้เทนนิสถูกเหวี่ยงไปหาลูกเทนนิสอยู่นิ่ง 12
ภาพที่ 2.5 แสดงรูปแบบกลไกของการเสิร์ฟเทนนิส 13
ภาพที่ 2.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของลูกเหนือตำแหน่งกระทบหน้าไม้กับความเร็วของลูกเทนนิสที่เคลื่อนผ่านหน้าไม้ในระดับลูกเทนนิสสูงสุดอยู่เหนือระดับไม้เทนนิส 1 ฟุต และ 2 ฟุต 15
ภาพที่ 2.7 แสดงพิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดี 17
ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดีในการเสิร์ฟกับความเร็วของลูกเสิร์ฟด้วยความสูงจากพื้น (ตำแหน่งที่ลูกกระทบหน้าไม้) 7.5 และ 9 ฟุต 18
ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของลูกที่ถูกตีออกไปกับมุมในแนวดิ่งที่ยอมรับได้ในการเสิร์ฟซึ่งมีความเร็วลูกเสิร์ฟที่แตกต่างกัน 19
ภาพที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างการเสิร์ฟลูกตรงกับลูกหมุนที่มีผลต่อความสูงเหนือระดับตาข่าย 19
ภาพที่ 3.1 แสดงเครื่องมือสำหรับการสร้างกรอบของจุดอ้างอิง 26
ภาพที่ 3.2 แสดงเครื่องมือสำหรับบันทึกภาพการเคลื่อนไหว 26
ภาพที่ 3.3 แสดงกล้องถ่ายภาพวีดีโอ Panasonic 27
ภาพที่ 3.4 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์การเคลื่อนไหว 27
ภาพที่ 3.5 แสดงจอภาพ Panasonic 28
ภาพที่ 3.6 แสดงวิธีการของ Direct linear transformation method 29
ภาพที่ 3.7 แสดงตำแหน่งของการวางไม้วัดระดับเพื่อใช้เป็นกรอบอ้างอิง 33
ภาพที่ 3.8 แสดงตำแหน่งการตั้งกล้อง 34
ภาพที่ 3.9 แสดงการสร้างโมเดลของการเครื่องไหว 36

หน้า

ภาพที่ 3.10 แสดงการกำหนดจุดพิกัดบนภาพตามลำดับของการสร้างโมเดล 36
ภาพที่ 3.11 แสดงเวกเตอร์ระหว่างจุดสองจุด 40
ภาพที่ 3.12 แสดงการกำหนดส่วนต่าง ๆ ของร่างกายให้เป็นปริมาณเวกเตอร์ 41
ภาพที่ 3.13 แสดงการหมุนของลำตัว 45
ภาพที่ 3.14 แสดงการงอและเหยียดของข้อศอก 45
ภาพที่ 3.15 แสดงการงอและเหยียดข้อเข่า 45
ภาพที่ 3.16 แสดงการงอและเหยียดข้อมือ 45
ภาพที่ 3.17 แสดงการหมุนเข้าและหมุนออกของข้อไหล่ 45
ภาพที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟที่ 1 ของนักเทนนิสคนที่ 1 51
ภาพที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟที่ 2 ของนักเทนนิสคนที่ 1 51
ภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟที่ 1 ของนักเทนนิสคนที่ 2 52
ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาของลูกเทนนิสตั้งแต่ขณะลอยสูงสุด ถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเสิร์ฟที่ 2 ของนักเทนนิสคนที่ 2 52
ภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ ในการเสิร์ฟครั้งที่ 1 ของนักเทนนิสคนที่ 1 54
ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ ในการเสิร์ฟครั้งที่ 2 ของนักเทนนิสคนที่ 1 54
ภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ ในการเสิร์ฟครั้งที่ 1 ของนักเทนนิสคนที่ 2 55
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟ ในการเสิร์ฟครั้งที่ 2 ของนักเทนนิสคนที่ 2 55