บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการเสิร์ฟเทนนิส

ในเกมการแข่งขันเทนนิส ผู้ที่เข้าร่วมการแข่งขันมีสองฝ่ายโดยจะอยู่คนละข้างของตาข่าย โดยผู้เสิร์ฟ (server) คือผู้ที่ตีลูกคนแรกในแต่ละเกม ส่วนผู้รับ (receiver) คือ ผู้ที่พร้อมจะตีลูกเทนนิสที่ถูกเสิร์ฟโดยผู้เสิร์ฟกลับไป (จากกติกาข้อที่ 8 ของสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ ปี 2004) (12)

การเลือกข้างว่าผู้ใดจะเล่นข้างใดของสนามและการเลือกเสิร์ฟว่าผู้ใดจะได้เริ่มเสิร์ฟก่อนนั้น มีกำหนดไว้ในกติกาข้อที่ 9 ของสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ ปี 2004 ว่า "การเลือกข้างและการเลือกเสิร์ฟ (choice of end & service) ที่จะเป็นผู้เสิร์ฟหรือผู้รับในเกมแรกก่อนนั้นให้ชี้ขาดด้วยการเสี่ยงทาย (toss) ก่อนการอบอุ่นร่างกาย (warm-up) จะเริ่มขึ้น ผู้เล่นหรือทีมที่ชนะในการเสี่ยงทายมีสิทธิ์เลือกหรือบังคับให้คู่ต่อสู้เลือกก็ได้

1. สิทธิ์ที่จะเป็นผู้เสิร์ฟหรือผู้รับในเกมแรกของการแข่งขัน ซึ่งในกรณีนี้ผู้เล่นอีกฝ่ายหนึ่งจะเป็นผู้เลือกข้าง หรือ
2. เลือกข้าง ในกรณีนี้ผู้เล่นอีกฝ่ายหนึ่งมีสิทธิ์จะเลือกเป็นผู้เสิร์ฟหรือผู้รับ หรือ
3. บังคับให้คู่ต่อสู้เลือกข้อหนึ่งข้อใดที่กล่าวมาข้างต้น

ขั้นตอนในการเสิร์ฟจากกติกาข้อที่ 16 ของสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ ปี 2004 กำหนดว่าก่อนเสิร์ฟผู้เสิร์ฟต้องยืนในท่าพักด้วยเท้าทั้งสองข้างอยู่หลังเส้นหลัง (baseline) คือให้เส้นหลังอยู่ระหว่างตาข่ายและผู้เสิร์ฟ และยืนอยู่ระหว่างเส้นสมมติที่ลากตรงต่อออกไปจากจุดกึ่งกลาง (centre mark) และ เส้นข้าง (sideline) ต่อจากนั้นให้ผู้เสิร์ฟใช้มือโยนลูกขึ้นไปในอากาศในทิศทางใดก็ได้ แล้วใช้ไม้เทนนิสตีลูกนั้นก่อนที่ลูกจะตกถึงพื้น เมื่อไม้เทนนิสสัมผัสลูกแล้ว หรือตีลูกพลาดก็ถือว่าการเสิร์ฟครั้งนั้นเสร็จสิ้นแล้ว ในกรณีที่ผู้เล่นมีแขนข้างเดียวอาจจะใช้ไม้เทนนิสช่วยโยนลูกในการเสิร์ฟก็ได้

วิธีการเสิร์ฟ (serving) การเสิร์ฟในเกมมาตรฐานทั่วไป ผู้เสิร์ฟต้องยืนหลังสนามด้านขวาและซ้ายสลับกันไป โดยที่เริ่มจากด้านขวาของสนามก่อนทุกเกม ในเกมไท-เบรก (tie-break game) ผู้เสิร์ฟจะต้องเสิร์ฟจากหลังสนามด้านขวาและด้านซ้ายสลับกันไป โดยการเสิร์ฟครั้งแรกจะต้องเสิร์ฟที่สนามทางด้านขวาก่อน โดยที่การเสิร์ฟนั้นลูกที่เสิร์ฟจะต้องข้ามตาข่ายไปสัมผัสกับพื้นสนามภายในบริเวณเสิร์ฟของสนามซึ่งอยู่ทแยงมุมกันก่อนที่ผู้รับจะตีลูกโต้กลับ (จากกติกาข้อที่ 17)

ข้อห้ามในระหว่างเสิร์ฟ ตลอดการเสิร์ฟผู้เสิร์ฟต้องไม่เปลี่ยนจุดยืนด้วยการเดินหรือวิ่ง (แต่ไม่รวมถึงการเคลื่อนไหวเท้าเพียงเล็กน้อยซึ่งอนุญาตให้ทำได้) ไม่สัมผัสเส้นท้ายสนามหรือสนามเทนนิสด้วยเท้าข้างใดข้างหนึ่ง หรือ สัมผัสพื้นส่วนที่เลยจากเส้นสมมติที่ลากจากเส้นข้างสนามด้วยเท้าใดเท้าหนึ่ง หรือ สัมผัสพื้นส่วนใดนอกจากพื้นที่อยู่หลังเส้นหลังในระหว่างเส้นสมมติที่ลากตรงต่อ ออกไปจากจุดกึ่งกลาง (centre mark)ด้วยเท้าใดเท้าหนึ่ง ซึ่งถ้าทำผิดกฎข้อห้ามดังกล่าวจะถือว่า เป็นฟุตฟ้อลท์ (foot fault) (จากกติกาข้อที่ 18)

ลูกเสิร์ฟเสีย (service fault) การตัดสินว่าลูกเสิร์ฟใดเป็นลูกเสิร์ฟเสียนั้น เมื่อผู้เสริฟทำผิดกติกาข้อที่ 16, 17, 18 หรือ ผู้เสิร์ฟตีลูกอย่างเจตนาแต่ไม่ถูกลูก หรือ ถ้าลูกที่เสิร์ฟนั้นไปสัมผัสสิ่งที่ติดตั้งถาวร, ไม้ค้ำยันตาข่าย (singles strick) หรือ ตาข่ายทางด้านหลัง (net post) ก่อนที่ลูกจะตกลงสัมผัสพื้น หรือ ลูกเสิร์ฟไปสัมผัสกับผู้เสิร์ฟหรือคู่ของผู้เสิร์ฟ หรือสิ่งใดที่ผู้เสิร์ฟหรือคู่ของผู้เสิร์ฟสวมใส่หรือถือมาด้วย (จากกติกาข้อที่ 19)

ถ้าลูกเสิร์ฟลูกแรกเสีย ผู้เสิร์ฟจะต้องเสิร์ฟอีกลูกหนึ่งใหม่โดยไม่รอช้า (การเสิร์ฟลูกที่ 2) จากหลังสนามด้านเดิมที่เสิร์ฟลูกแรกไปแล้ว เว้นแต่การเสิร์ฟนั้นเป็นการเสิร์ฟที่ผิดด้าน (จากกติกาข้อที่ 20)

การขานเล็ทในขณะเสิร์ฟ (the "let" in service) การเสิร์ฟที่ถือว่าเล็ท คือ เมื่อลูกเสิร์ฟไปสัมผัสตาข่าย แถบขึงตาข่ายหรือแถบหุ้มตาข่าย แล้วตกในสนามที่ถูกต้อง หรือเมื่อลูกที่เสิร์ฟไปสัมผัสตาข่าย แถบขึงตาข่ายหรือแถบหุ้มตาข่ายแล้วสัมผัสร่างกายผู้รับหรือสิ่งของที่ผู้รับสวมใส่หรือถืออยู่ที่มือก่อนที่ลูกนั้นจะสัมผัสพื้น และ เมื่อได้เสิร์ฟลูกไปแล้วในขณะผู้รับยังไม่พร้อม เมื่อการเสิร์ฟเป็นเล็ท ไม่มีฝ่ายใดได้แต้ม และผู้เสิร์ฟต้องเสิร์ฟลูกนั้นใหม่ การเสิร์ฟที่เป็นเล็ทไม่ทำให้การเสิร์ฟที่เสียไปในลูกแรกกลับเป็นลูกดีได้ (จากกติกาข้อที่ 22)

การขานเล็ท (the let) ทุกกรณีที่ขานคำว่า"เล็ท" ยกเว้นการขานเล็ทในการเสิร์ฟลูกที่ 2 ให้เล่นแต้มนั้นใหม่ (จากกติกาข้อที่ 23)

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า การเสิร์ฟเป็นการตีลูกเทนนิสเพื่อเริ่มต้นการแข่งขัน และถ้าผู้เล่นสามารถเสิร์ฟได้รุนแรงและแม่นยำ จะทำให้คู่แข่งขันตีโต้กลับมาได้ยาก ย่อมจะทำให้ได้แต้ม และมีโอกาสเป็นผู้ชนะในที่สุด บางครั้งผู้เสิร์ฟสามารถเสิร์ฟลูกโดยผู้รับไม่สามารถขยับตัวรับลูกได้ทัน ซึ่งเรียกว่า ลูกเอซ (ace) (13)

จังหวะของการเสิร์ฟ

ท่าทางของการเสิร์ฟนั้นจะมีลักษณะคล้ายกับการโยนลูกเหนือศีรษะ ซึ่งสามารถแบ่งลักษณะของการเสิร์ฟได้เป็น 3 จังหวะที่สำคัญ (14,15) คือ

1. จังหวะของการเตรียมพร้อม (preparation phase)

1.1 การโยนลูกเทนนิส (wind-up phase) เริ่มตั้งแต่มีการเปลี่ยนท่าทางการเคลื่อนไหวจนกระทั่งลูกเทนนิสถูกโยนและลอยหลุดมือออกไป

ก่อนการเสิร์ฟนั้น นักเทนนิสจะผ่อนคลายส่วนต่างๆของร่างกาย ซึ่งมีส่วนช่วยในการควบคุมจังหวะการเสิร์ฟได้, ทำให้เสิร์ฟได้แรง และป้องกันการบาดเจ็บที่อาจเกิดขึ้นได้ เมื่อเริ่มโยนลูกเทนนิส น้ำหนักของร่างกายส่วนใหญ่จะตกลงที่เท้าด้านหลัง (1) จากนั้นถ่ายน้ำหนักตัวมาที่เท้าด้านหน้า แขนข้างที่โยนลูกเทนนิสเหยียดตรงแล้วปล่อยลูกให้ลอยขึ้นไปสู่อากาศ จากการศึกษาจากผู้เข้าแข่งขันในการแข่งขันโอลิมปิกเกมที่แอตแลนต้า พบว่า นักเทนนิสจะโยนลูกเทนนิสให้เคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าและค่อนไปทางด้านซ้าย (4)

1.2 การเหวี่ยงไม้ไปทางด้านหลัง (cocking phase) เริ่มตั้งแต่ลูกเทนนิสถูกโยนขึ้นไปจนกระทั่งแขนข้างที่ถือไม้เทนนิสนั้น เหวี่ยงไม้ไปทางด้านหลัง ข้อไหล่หมุนออกด้านนอกมากที่สุด

2. จังหวะของการเพิ่มความเร่ง (acceleration phase) เริ่มตั้งแต่มีการเคลื่อนที่ของแขนข้างที่ถือไม้เทนนิสเคลื่อนที่มาทางด้านหน้า จนกระทั่งตีลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้

3. จังหวะของการลดความเร่ง (deceleration phase) หรือ การเหวี่ยงไม้ตามหลัง (follow-through phase) เริ่มตั้งแต่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้จนกระทั่งสิ้นสุดการเสิร์ฟ

ประเภทของการเสิร์ฟเทนนิส (3, 16)

ลักษณะของการเสิร์ฟมีมากมายหลายแบบ ซึ่งการเสิร์ฟแต่ละแบบมีผลทำให้วิถีทางของลูกที่วิ่งไปแตกต่างกัน ขณะลูกลอยอยู่ในอากาศลูกจะวิ่งในลักษณะต่างกัน เมื่อตกถึงพื้นแล้วจะกระดอนในมุมที่ต่างกัน อาจกระดอนสูง ต่ำ ไปทางขวา ไปทางซ้าย ตามแต่ประเภทของการเสิร์ฟ ซึ่งสามารถแบ่งตามผู้เล่นส่วนใหญ่นิยม ได้แก่

1. **การเสิร์ฟลูกตรงหรือลูกดาด** (flat or cannonball)

เป็นการเสิร์ฟที่หน้าไม้กระทบลูกเทนนิสตรง ๆ เต็มหน้าไม้ ลูกจะพุ่งไปข้างหน้าโดยไม่มีการหมุนหรืออาจจะหมุนเพียงเล็กน้อย ทำให้ลูกพุ่งไปได้แรงและเร็ว หากเสิร์ฟได้ดีแล้วจะเป็น

ลูกเสิร์ฟที่มีความเร็วมากที่สุด ซึ่งมักนิยมใช้เป็นลูกเสิร์ฟลูกแรก

2. **การเสิร์ฟลูกหมุนออกข้าง** (slice)

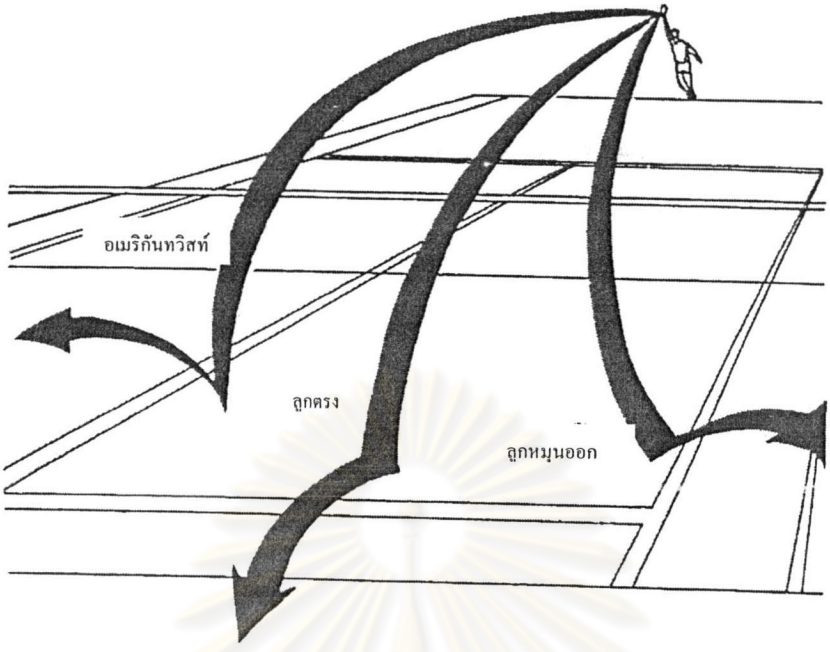
การตีลูกแบบนี้ หน้าไม้จะถูกลูกเทนนิสจากขวาไปซ้าย จากนั้นลูกจะหมุนไปในแนวขนานกับพื้น เมื่อกระดอนพื้นจะดีดตัวออกไปทางด้านขวามือของผู้รับ ซึ่งผู้เล่น ส่วนใหญ่นิยมใช้เป็นลูกเสิร์ฟลูกที่ 2 เพราะควบคุมทิศทางได้ง่าย และลูกมีการกระดอนเปลี่ยนทิศทาง

3. **การเสิร์ฟลูกแบบอเมริกันทวิสท์** (american twist)

การเสิร์ฟแบบนี้เป็นการเสิร์ฟให้หัวไม้เทนนิสตีลูกขึ้นทางด้านบน ทำให้ลูกหมุนในลักษณะทแยงมุมและหมุนขึ้นโค้งข้ามตาข่าย และกระดอนขึ้นสูงกว่าปกติ ซึ่งนักเทนนิสต้องใช้การแอ่นตัว การบิดของข้อมือ และจังหวะปะทะลูกมากกว่าการเสิร์ฟลูกตรง หรือ ลูกหมุนออกข้าง

ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการโยนลูกและการแอ่นตัวที่แตกต่างกันในการเสิร์ฟลูกตรง, ลูกหมุนออกข้างและลูกอเมริกันทวิสท์ (ที่มา: สมจิตร ทองประดับ. เรียนเทนนิสด้วยตัวเอง, หน้า 92. . กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ศุภศิลป์, ม.ป.ป.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.2 แสดงทิศทางการกระดอนของการเสิร์ฟลูกตรง, ลูกหมุนออกข้าง และลูกอเมริกันทวิสท์ (ที่มา: ศุภฤกษ์ มั่นใจตน. เทนนิส, หน้า 52. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2540.)

ความรู้ทางฟิสิกส์เบื้องต้นเกี่ยวกับการเสิร์ฟเทนนิส

1. apparent coefficient of restitution (ACOR) (6, 17)

เป็นค่าที่อ้างอิงถึงพลังงานทางคิเนติก (kinetic energy) ของความเร็วของลูกเทนนิสหลังกระทบหน้าไม้ซึ่งเปรียบเทียบกับความเร็วของลูกเทนนิสก่อนที่จะกระทบหน้าไม้ โดยที่ค่า ACOR นี้สามารถคำนวณได้โดยให้ไม้เทนนิสอยู่นิ่งกับที่ แล้วยิงลูกเทนนิสเข้าหาไม้เทนนิสด้วยความเร็ว V_1 และลูกเทนนิสจะกระเด้งออกจากหน้าไม้ด้วยความเร็ว V_2 ดังรูปที่ 2.3

ซึ่งในกรณีนี้จะได้ค่า $ACOR = e_A = V_2 / V_1$ .....สมการที่ 1

ปัจจัยที่ทำให้ ACOR นี้มีค่าลดลงเมื่อมีการเพิ่มความตึงของเส้นเอ็นที่ขึงบนหน้าไม้เทนนิส หรือเพิ่มความเร็วของลูกที่มากระทบหน้าไม้ และปัจจัยที่ทำให้ค่า ACOR เพิ่ม ก็คือการเพิ่มความแข็งของไม้เทนนิสและการเพิ่มความกว้างของเอ็นที่ขึงอยู่บนหน้าไม้เทนนิส

2. สมการของความเร็วของลูกเสิร์ฟ (6)

ความเร็วของลูกเสิร์ฟสามารถคำนวณได้จากค่า ACOR ซึ่งค่า ACOR นั้นเป็นค่าที่คำนวณเมื่อลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ในขณะที่ไม้เทนนิสไม่มีการเคลื่อนที่ แต่สิ่งที่เกิดขึ้นในการเสิร์ฟนั้น ก็คือ นักเทนนิสจะเหวี่ยงไม้เทนนิสเข้าหาลูกที่กำลังหยุดนิ่งหรือตกลงมาจากจุดสูงสุดในแนวดิ่ง แม้ว่าในแนวราบลูกเทนนิสอาจมีการเคลื่อนที่บ้างเพียงเล็กน้อย แต่ส่วนใหญ่ลูกเทนนิสจะไม่ค่อยมีความเร็วในแนวราบ ซึ่งในที่นี้ถือได้ว่าลูกเทนนิสนั้นหยุดนิ่งกลางอากาศขณะที่นักเทนนิสเหวี่ยงไม้เพื่อที่จะตีลูก เพื่อที่จะให้ลูกกระเด้งออกจากหน้าไม้ไปในทิศทางแนวราบ ถ้าสมมติให้ความเร็วทั้งหมดคงที่เช่นเดียวกับรูปที่ 2.3 แล้วกำหนดให้ความเร็ว V_1 คือความเร็วของไม้เทนนิส ผลที่ได้จะปรากฏดังรูปที่ 2.4

นั่นก็คือ ไม้เทนนิสจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว V_1 (ทิศทางตรงข้ามกับความเร็วของ V_1 ในรูปที่ 2.3) และความเร็วต้นของลูกเทนนิสจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ส่วนลูกเทนนิสจะเคลื่อนที่จากหน้าไม้ด้วยความเร็ว V_2+V_1

จากคำนิยามของ ACOR จะได้ $e_A = V_2 / V_1$ .....สมการที่ 1

ดังนั้น $V_1 e_A = V_2$ .....สมการที่ 2

จะได้ความเร็วของการเสิร์ฟ $(V_S) = (1 + e_A) V_1$

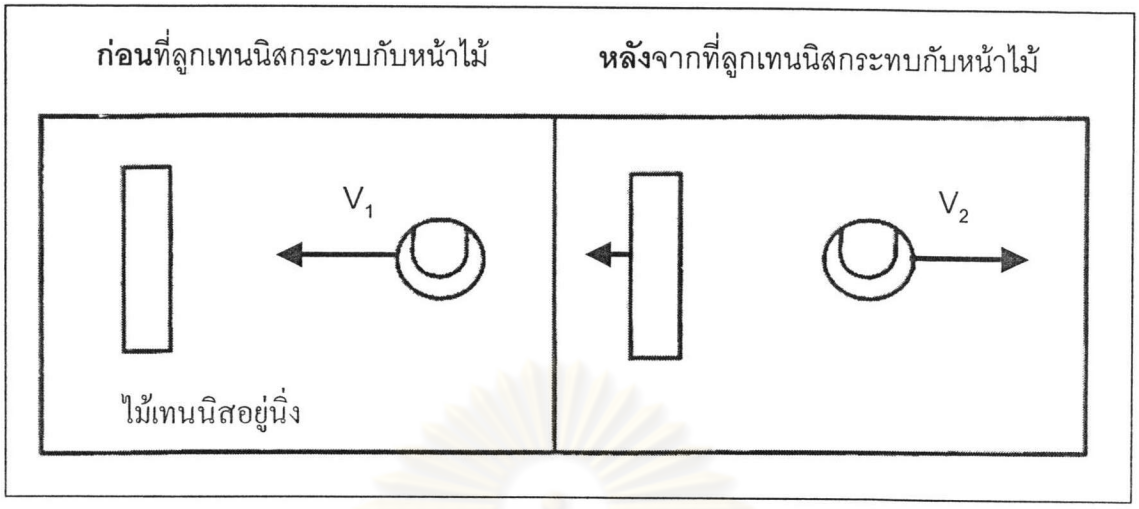
ดังนั้นจะสามารถประมาณค่าของความเร็วของลูกเสิร์ฟได้ ถ้าทราบค่า ACOR และความเร็วของไม้เทนนิสขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเสิร์ฟเทนนิส (18)

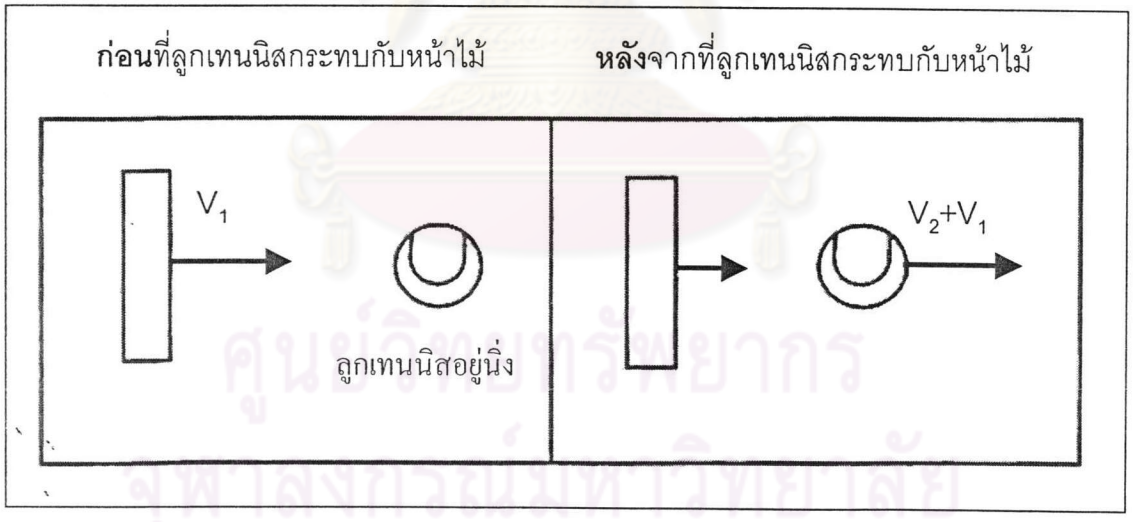
การเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิสนั้น นักเทนนิสจะมีโอกาสได้แต้มก็ต่อเมื่อสามารถตีไปตกที่ฝั่งคู่ต่อสู้โดยตกอยู่ในแดนเสิร์ฟ เพื่อให้เป็นลูกดีในการแข่งขัน ซึ่งขึ้นกับสองปัจจัยที่สำคัญคือ ความเร็วของลูกเสิร์ฟ และวิถีการเคลื่อนที่ของลูกเสิร์ฟ

1. ปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วในการเสิร์ฟเทนนิส

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า ความเร็วของลูกเทนนิสในการเสิร์ฟนั้น ขึ้นกับองค์ประกอบหลัก 3 ประการ คือ

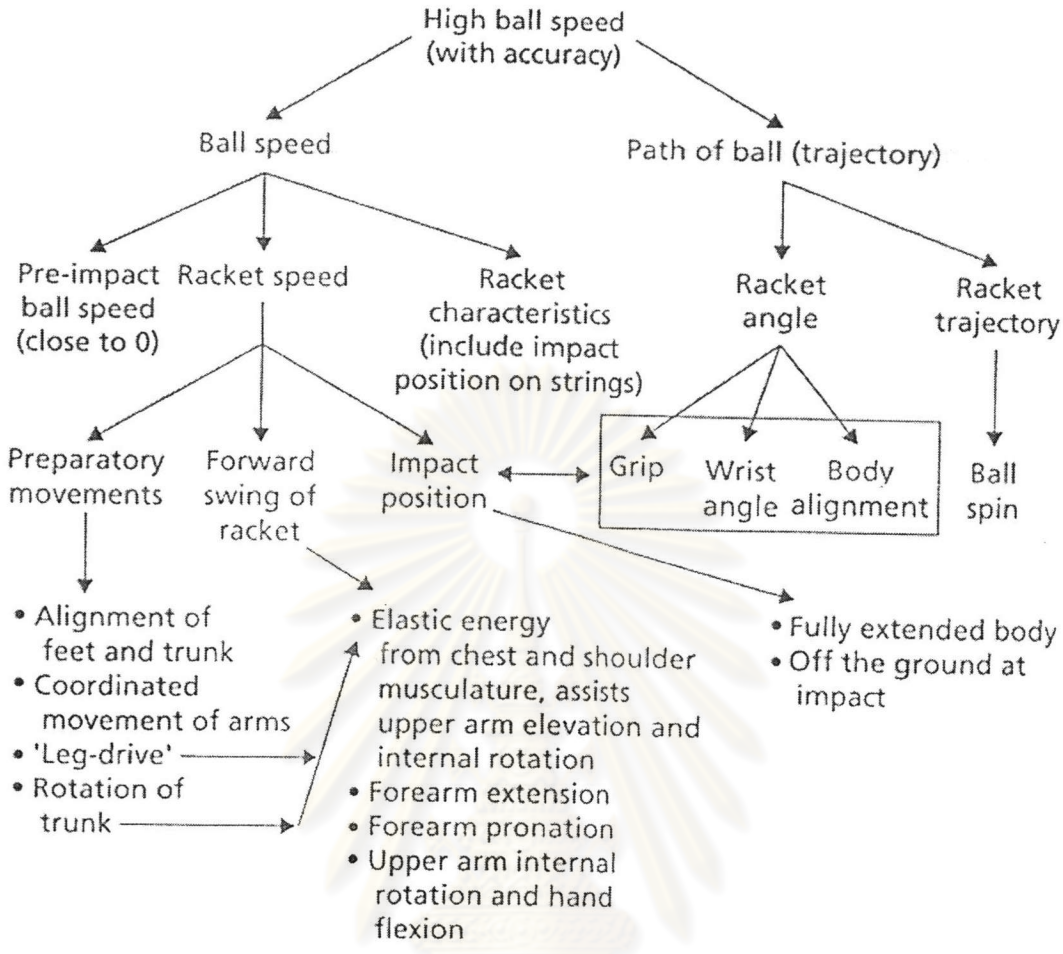


ภาพที่ 2.3 แสดงลักษณะก่อนและหลังจากที่ลูกกระทบหน้าไม้ ในสภาวะที่ลูกเทนนิสถูกยิงเข้าหาไม้เทนนิสที่หยุดนิ่ง (ดัดแปลงจาก Lindsey, C. Energy and Coefficient of Restitution. In Brody, H.; Cross, R.; and Lindsey, C. (eds). The Physics and Technology of Tennis, p.124. USRSA, 2002.)



ภาพที่ 2.4 แสดงลักษณะก่อนและหลังจากที่ลูกกระทบหน้าไม้ ในสภาวะที่ไม้เทนนิสถูกเหวี่ยงไปหาลูกเทนนิสอยู่นิ่ง (ดัดแปลงจาก Lindsey, C. Energy and Coefficient of Restitution. In Brody, H.; Cross, R.; and Lindsey, C. (eds). The Physics and Technology of Tennis, p.124. USRSA, 2002.)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 2.5 แสดงรูปแบบกลไกของการเสิร์ฟเทนนิส (ที่มา: Elliott, B. C. Biomechanics of tennis. In Renström, A. F. H. (ed). Handbook of Sports Medicine and Science Tennis, p.25 Oxford: Blackwell Science, 2002.)

1.1 ความเร็วของลูกเทนนิสก่อนกระทบหน้าไม้

ความเร็วในแนวดิ่งของลูกเทนนิสที่ถูกโยนขึ้นไปลอยตัวอยู่ในอากาศ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0 ก็ต่อเมื่อ ลูกลอยสูงสุดก่อนที่ลูกจะตกลงตามแรงโน้มถ่วงของโลก

หลักสำคัญของการเสิร์ฟที่จะทำให้ลูกรุนแรงและเร็วนั้น ก็คือสามารถเสิร์ฟลูกได้เป็นจังหวะต่อเนื่องกลมกลืนตั้งแต่เริ่มโยนจนถึงจังหวะที่ตีลูกเสร็จโดยไม่มีการหยุดรอลูก หากโยนลูกเทนนิสสูงเกินไป ก็จะทำให้การเสิร์ฟชะงักไม่ต่อเนื่อง แต่หากโยนลูกเสิร์ฟต่ำเกินไปก็จะตีลูกไม่ทันต้องรีบตีทำให้ขาดความแม่นยำ ดังนั้นผู้โยนลูกไปในความสูงที่เหมาะสมและสามารถตีลูก

เทนนิสได้เมื่อขณะที่ลูกเทนนิสอยู่ใกล้เคียงจุดที่ลูกเทนนิสลอยสูงสุดนั้น จึงต้องฝึกตีลูกให้เร็ว ซึ่งมีผลทำให้คู่ต่อสู้เดาทิศทางของลูกได้ยาก ดังจะเห็นได้จากนักเทนนิสชั้นแนวหน้าคนหนึ่งของโลกชาวอเมริกัน รอสโค แทนเน่อร์ ซึ่งมีลูกเสิร์ฟที่รุนแรงและรวดเร็วมาก สามารถเสิร์ฟลูกมีความเร็ว 140 ไมล์ต่อชั่วโมง โดยการโยนลูกเสิร์ฟสูงเท่าระดับกลางหน้าไม้พอดี เมื่อลูกสูงได้ระดับก็ตีลูกทันทีโดยไม่ต้องรอให้ลูกย้อยลงมา ดังนั้นลูกเสิร์ฟของรอสโค แทนเน่อร์ จึงเป็นที่เกรงขามของผู้อื่นมาก (13)

ผลอีกประการหนึ่งของการตีลูกขณะที่ลูกเทนนิสลอยใกล้เคียงจุดสูงสุดก็คือ ความเร็วของลูกเทนนิสในแนวดิ่งที่ผ่านหน้าไม้มีเวลาที่ลูกอยู่ในหน้าไม้มากกว่าการโยนลูกสูงเหนือหน้าไม้มากๆ ซึ่งทำให้ตีลูกได้ง่ายขึ้น ดังจะเห็นได้จากการคำนวณจากสูตรการเคลื่อนที่ที่ว่า

$$S = ut + \tfrac{1}{2} gt^2 \qquad \text{.....สมการที่ 3}$$

โดยที่ S แทน ระยะทางระหว่างขณะลูกอยู่จุดสูงสุดถึงลูกกระทบหน้าไม้

u แทน ความเร็วในแนวดิ่งขณะที่ลูกลอยสูงสุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0

t แทน ระยะเวลาตั้งแต่ขณะที่ลูกลอยสูงสุดถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้

g แทน แรงดึงดูดโลก มีค่าประมาณ 10 เมตร/วินาที^{2}

จากสมการที่1 เนื่องจาก u = 0 จะได้

$$S = \tfrac{1}{2} gt^2 \qquad \text{.....สมการที่ 4}$$

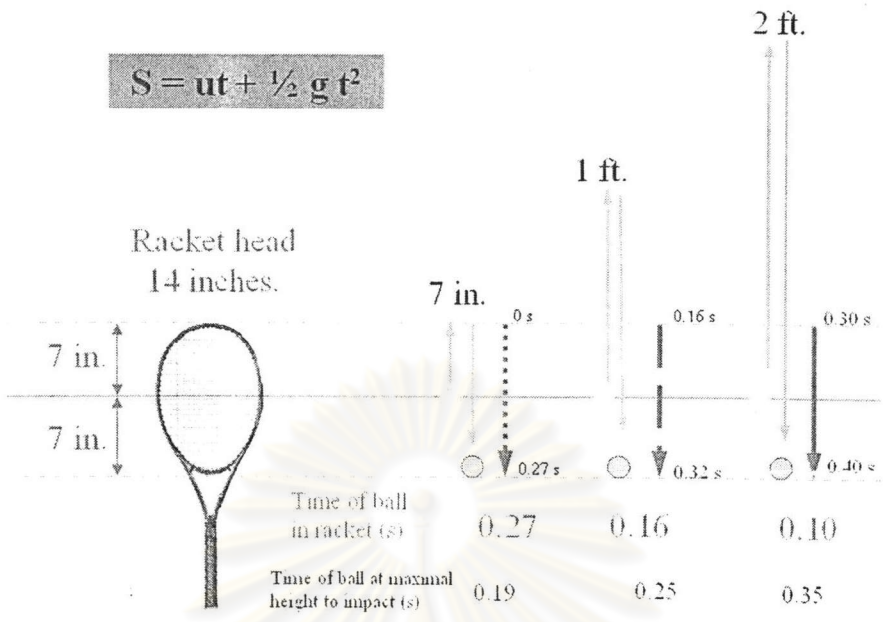
$$t = \sqrt{2S/g} \qquad \text{.....สมการที่ 5}$$

ถ้าหน้าไม้จากขอบบนของหัวไม้ถึงขอบบริเวณคอของไม้เทนนิสกว้าง 14 นิ้ว (ความกว้างมาตรฐานของไม้เทนนิส) บริเวณที่ลูกสามารถกระทบหน้าไม้ได้ก็คือ 14 นิ้ว เช่นกัน จะได้ระยะเวลาที่ลูกผ่านหน้าไม้

$$\text{ระยะเวลาที่ลูกผ่านหน้าไม้} = t_1 - t_2 = \frac{2S_1 - 2S_2}{g} \qquad \text{..... สมการที่ 4}$$

โดยที่ t_1 แทน ระยะเวลาที่ลูกลอยสูงสุดถึงลูกกระทบที่ขอบไม้ด้านบน

t_2 แทน ระยะเวลาที่ลูกลอยสูงสุดถึงลูกกระทบที่ขอบไม้ด้านล่าง



ภาพที่ 2.6 ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของลูกเหนือตำแหน่งกระทบหน้าไม้กับความเร็วของลูกเทนนิสที่เคลื่อนผ่านหน้าไม้ในระดับลูกเทนนิสสูงสุดอยู่เหนือระดับไม้เทนนิส 1 ฟุต และ 2 ฟุต

1.2 ความเร็วของไม้เทนนิส

ความเร็วของไม้เทนนิสในการเสิร์ฟนั้นเกิดจากการสร้างแรงจากห่วงโซ่คิเนติก(kinetic chain) เป็นการทำงานประสานสัมพันธ์กันของกล้ามเนื้อเพื่อสร้างแรงจากขา ลำตัว ไหล่ ข้อศอก ข้อมือ ไปสู่ไม้เทนนิส การเสิร์ฟ ซึ่งต้องอาศัย 4 ส่วนของร่างกายที่สำคัญ (1) ได้แก่

1. ส่วนของขาหรือข้อสะโพก จะถูกกำหนดโดยองศาการงอของข้อเข่าในช่วง cocking โดยที่การเหยียดข้อเข่าออกจากท่างอเข่าจะทำให้เกิด upward linear momentum เป็นการส่งถ่ายแรงปฏิกิริยาจากพื้น (ground reaction force) ไปสู่ลำตัว ซึ่งขาทางด้านหลังจะทำให้เกิดแรงผลักไปทางด้านบนและด้านหน้า ขณะที่ขาทางด้านหน้าจะเป็นตัวที่ทำให้เกิดความมั่นคงหลังจากการเกิด rotational momentum สิ่งนี้ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวแบบผลักจากพื้นไปสู่ไม้เทนนิส

2. การหมุนของลำตัวและการดึงกลับของสะบัก (scapular retraction) จะช่วยในเรื่องของการวางตำแหน่งของข้อไหล่หรือแขนในช่วง cocking ได้ และทำให้อยู่ในท่าที่มั่นคงเพื่อยอมให้เกิดช่วงเพิ่มความเร็วไปยังลูกเทนนิส

3. ข้อไหล่ต้องหมุนออกนอก (shoulder external rotation) และกางแขนขนานกับพื้น (horizontal abduction) ในช่วง cocking และข้อไหล่หมุนเข้าในในช่วง acceleration ซึ่งการที่ข้อ

ไหล่หมุนเข้าใน (shoulder internal rotation) จากช่วง cocking ถึงช่วง acceleration นี้มีความสำคัญมากต่อความผันแปรทางชีวกลศาสตร์ใน kinetic chain ของการเสิร์ฟที่ทำให้เกิดความเร็วสูงสุด ซึ่งเกิดขึ้นใกล้กับช่วงที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ และเกิดความเร่งสูงสุดของลูกเทนนิส

4. แขนส่วนล่างต้องอยู่ในท่าคว่ำมือลง (forearm pronation) เพื่อที่จะเร่งไม้เทนนิสให้ผ่านช่วงของการตี การเคลื่อนไหวนี้จะเกิดขึ้นพร้อมกับการที่ข้อไหล่หมุนเข้าใน

1.3 ลักษณะของไม้เทนนิสรวมไปถึงตำแหน่งของลูกเทนนิสที่กระทบหน้าไม้

ไม้เทนนิสที่มีน้ำหนักเบา (สำหรับไม้เทนนิสที่มีหัวไม้ความเร็วเท่ากัน) จะทำให้ลูกเทนนิสเคลื่อนตัวที่ความเร็วช้ากว่า ไม้เทนนิสที่มีน้ำหนักกว่าจะให้ความเร็วที่มากกว่าแต่หากไม้เทนนิสนั้น มีน้ำหนักมากเกินไปจนไม่สามารถเหวี่ยงไม้เทนนิสได้ จะไม่เกิดประโยชน์ (2) นอกจากนี้ความตึงของเส้นเอ็นที่ขึงที่หน้าไม้เทนนิสก็มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟด้วยเช่นกัน ถ้าเส้นเอ็นมีความตึงเพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความเร็วของลูกหลังกระทบหน้าไม้มีค่าลดลง(17)

2. ปัจจัยที่มีผลต่อความแม่นยำในการเสิร์ฟ

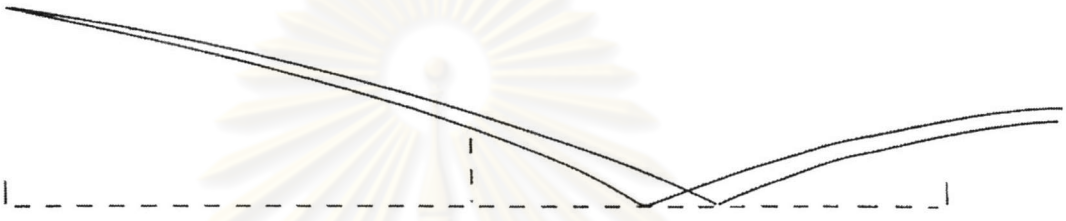
นักเทนนิสสามารถนำความรู้ทางฟิสิกส์มาประยุกต์ เพื่อเพิ่มเปอร์เซ็นต์การเสิร์ฟได้ โดยการเปลี่ยนตัวแปรต่างๆ เพื่อเพิ่มพิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดี (vertical angular acceptance of the shot)

ในการเสิร์ฟนั้น ถ้าความเร็วและการหมุนของลูกเทนนิสไม่เปลี่ยนแปลง ณ ความสูงและตำแหน่งที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้นั้น จะมีมุมที่น้อยที่สุดที่ลูกเทนนิสสามารถถูกตีได้โดยไม่ติดตาข่าย และจะมีมุมที่มากที่สุดที่สามารถทำให้ลูกเทนนิสตกอยู่ภายในเส้นเสิร์ฟโดยไม่หลุดออกไปนอกแดนเสิร์ฟ ซึ่งความแตกต่างระหว่างมุมที่มากที่สุดและมุมที่น้อยที่สุด ก็คือ พิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดี

สำหรับการเสิร์ฟที่ดีนั้น มุมที่มากที่สุดที่ทำให้ลูกตกก่อนหรือพอดีกับเส้นเสิร์ฟนั้น ลูกเทนนิสจะผ่านตาข่ายได้โดยมีช่วงของความสูงเหนือตาข่าย ซึ่งส่วนที่สูงจากตาข่ายนี้สามารถพิจารณาได้จากพิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดีนั่นเอง กล่าวคือ ถ้าลูกเทนนิสถูกตีให้ความสูงเหนือตาข่ายต่ำเกินไป ลูกก็จะติดตาข่าย หรือถ้าตีให้ความสูงเหนือตาข่ายมากเกินไป ลูกเทนนิสก็จะตกลงพื้นหลังเส้นเสิร์ฟซึ่งจะกลายเป็นลูกเสีย

พิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดี หรือการตีเทนนิสข้ามตาข่ายแล้วเป็นลูกดีนั้น ขึ้นกับความเร็วของลูกเทนนิสที่ออกจากหน้าไม้, ความสูงของลูกเทนนิสที่ถูกตีออกไป (ความสูงของลูกเทนนิสขณะกระทบหน้าไม้), การหมุนของลูกเสิร์ฟ และตำแหน่งของผู้เสิร์ฟในสนามเทนนิส

Trajectories for a ball that just clears the net and a ball that lands on the service line.



ภาพที่ 2.7 พิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดี

(Brody, H. Improving your serve. In Brody, H.; Cross, R.; and Lindsey, C. (eds). The Physics and Technology of Tennis, p.194. USRSA, 2002.)

2.1 ความเร็วของการเสิร์ฟ

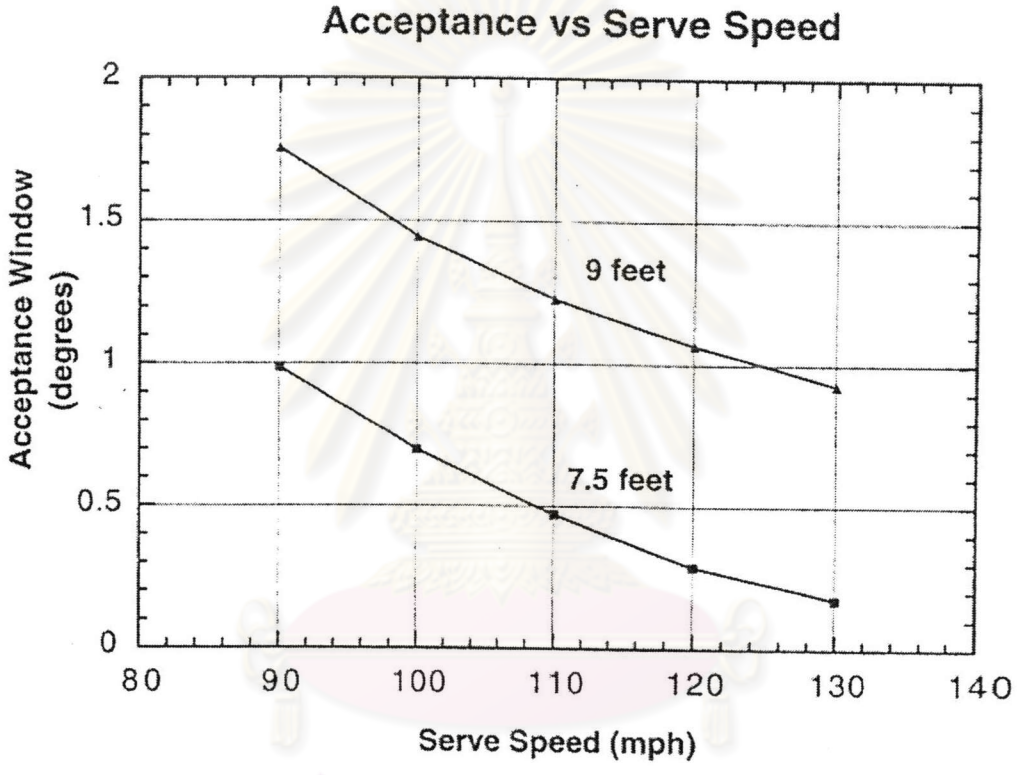
นักเทนนิสหลายคนจะพยายามเสิร์ฟลูกแรกให้แรงที่สุดเท่าที่พวกเขาสามารถทำได้ และเสิร์ฟความเร็วลูกที่สองด้วยความเร็วปกติเมื่อลูกเสิร์ฟลูกแรกเป็นลูกเสีย ทั้งนี้การที่เสิร์ฟลูกช้าลงจะทำให้ลูกมีโอกาสเป็นลูกดีมากขึ้น เนื่องจากการที่ตีลูกเทนนิสแรงขึ้น (เพิ่มความเร็วของลูกเทนนิสที่ออกจากหน้าไม้) มุมที่สามารถยอมรับได้จะมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากแรงดึงดูดของโลกจะดึงลูกเทนนิสสู่พื้นในแดนเสิร์ฟ ถ้าลูกเสิร์ฟช้าลง แรงดึงดูดของโลกยิ่งส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทิศทางของลูกเทนนิสมากขึ้น และทำให้ลูกตกอยู่ในแดนเสิร์ฟได้

2.2 ความสูงของลูกเทนนิสที่ถูกตีออกไป

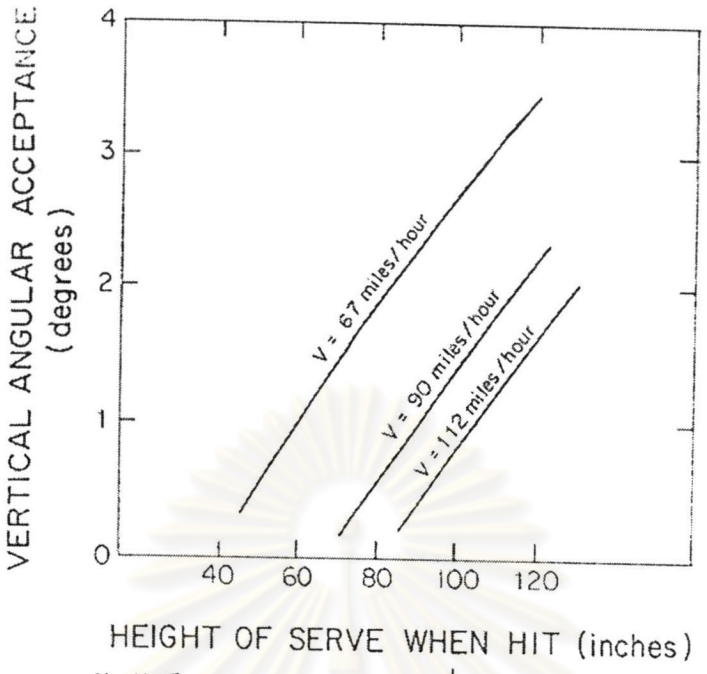
จากรูปที่ 2.8 แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของลูกที่ถูกตีออกไปกับมุมในแนวดิ่งที่ยอมรับได้ในการเสิร์ฟที่มีความเร็วลูกเสิร์ฟแตกต่างกัน จะเห็นได้ว่าโอกาสที่สามารถเสิร์ฟแล้วเป็นลูกเสิร์ฟดีนั้นน้อยลงเมื่อความสูงของลูกลดลง ดังนั้นนักเทนนิสที่สูงจึงได้เปรียบในการเสิร์ฟมากกว่านักเทนนิสที่เตี้ยกว่า

2.3 การหมุนของลูกเสิร์ฟ

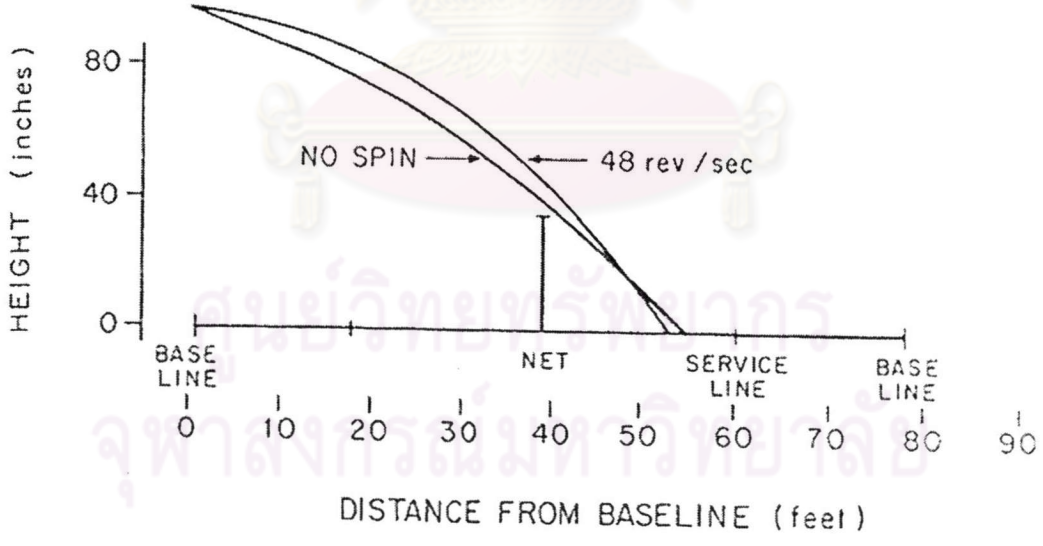
การตีลูกเสิร์ฟแบบหมุนขึ้น (topspin) นั้น จะสามารถทำให้โอกาสในเกิดลูกเสียน้อยลง เนื่องจากทำให้สามารถเพิ่มโอกาสให้ลูกตกในแดนเสิร์ฟมากขึ้น จึงทำให้เปอร์เซ็นต์ในการเสิร์ฟสูงขึ้น โดยการตีลูกแบบหมุนขึ้นนั้น จะทำให้ลูกเสิร์ฟข้ามตาข่ายได้สูงขึ้น ในขณะที่ตกถึงพื้นสนามใกล้กว่าการเสิร์ฟแบบลูกตรงหรือลูกที่ไม่มีการหมุน



ภาพที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างพิสัยมุมในแนวดิ่งที่ทำให้การเสิร์ฟเป็นลูกที่ดีในการเสิร์ฟกับความเร็วของลูกเสิร์ฟด้วยความสูงจากพื้น (ตำแหน่งที่ลูกกระทบหน้าไม้) 7.5 และ 9 ฟุต (Brody, H. Improving your serve. In Brody, H.; Cross, R.; and Lindsey, C. (eds). The Physics and Technology of Tennis, p.195. USRSA, 2002.)



ภาพที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของลูกที่ถูกตีออกไป กับมุมในแนวดิ่งที่ยอมรับได้ในการเสิร์ฟซึ่งมีความเร็วลูกเสิร์ฟที่แตกต่างกัน (ที่มา: Brody, H. Tennis Science for Tennis Players, p. 107. Philadelphia: University of Pennsyivania Press, 1992.)



ภาพที่ 2.10 แสดงความแตกต่างระหว่างการเสิร์ฟลูกตรงกับลูกหมุนที่มีผลต่อความสูงเหนือระดับตาข่าย (ที่มา: Brody, H. Tennis Science for Tennis Players, p. 109. Philadelphia: University of Pennsyivania Press, 1992.)

2.4 ตำแหน่งของผู้เสิร์ฟในสนามเทนนิส

ตำแหน่งของการยืนเสิร์ฟที่แตกต่างกัน จะทำให้ผลของการเสิร์ฟแตกต่างกันบ้างแต่น้อยมากหรือแทบไม่เปลี่ยนแปลง นอกจากนักเทนนิสนั้นมีความสูงและสามารถตีลูกได้แรง แต่หากนักเทนนิสมีส่วนสูงไม่พอ หรือ ไม่สามารถตีลูกในจุดที่ความสูงไม่ถึงและตีได้ไม่แรง ทำให้เกิดความผิดพลาดในการเสิร์ฟเพิ่มขึ้น เช่นเดียวกับเมื่อได้ยืนห่างจากเส้นท้ายสนามลูกเทนนิส ลูกจะเคลื่อนที่ในอากาศช้าลงจากแรงต้านทานของอากาศ เพราะเมื่อขยับตัวถอยหลัง จะทำให้กำลังของลูกเสิร์ฟลดลงด้วย อาจทำให้ฝ่ายตรงข้ามมีเวลาเตรียมตัวมากขึ้น มองเห็นทิศทางของลูกได้ชัดเจนขึ้น และตีโต้กลับได้ง่าย นอกจากนักเทนนิสมีการเสิร์ฟที่แรงมากโดยลูกจะเคลื่อนที่เร็วขึ้นเมื่อใกล้ตาข่าย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ศึกษาถึงการเสิร์ฟเทนนิส ซึ่งงานวิจัยส่วนใหญ่เป็นการทำการทดลองขึ้นโดยการให้นักเทนนิสเสิร์ฟไปยังเป้าหมายที่กำหนด เพื่อดูตัวแปรหรือปัจจัยต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเสิร์ฟเทนนิส ได้แก่

การศึกษาท่าทางของการเสิร์ฟเทนนิสโดยใช้การวิเคราะห์ด้วยภาพแบบ 3 มิติ โดยการใช้กล้องซึ่งบันทึกภาพแบบสองมิติด้วยความถี่ 200 fps. เวลาที่ใช้ในการเปิดหน้ากล้อง 1/2400 วินาที แล้วใช้ Direct Linear Transformation method (DLT method) ในการสร้างบริเวณแบบสามมิติ ซึ่งศึกษาในนักเทนนิสมืออาชีพ 8 คน พบว่า นักเทนนิส 7 ใน 8 คนมีตำแหน่งจุดศูนย์กลางแรงโน้มถ่วง (center of gravity) ไปทางด้านขาที่อยู่ด้านหน้าในขณะที่ยืน และข้อศอกทำมุม 90 องศาในช่วงที่มีการเหวี่ยงแขนไปทางด้านหลัง ส่วนข้อเข่าของนักเทนนิสทั้ง 8 คนนั้น มีการงอมากที่สุดหรือใกล้เคียงกับที่พวกเขาสามารถทำได้ ค่าเฉลี่ยสูงสุดของความเร็วข้อไหล่ในแนวดิ่งคือ 1.7 เมตร/วินาที ซึ่งอยู่ในช่วงที่มีการขับเคลื่อนของขาเพื่อสร้างแรงที่ข้อไหล่ในแขนข้างที่ถือไม้เทนนิสโดยการทำงานแบบ eccentric ด้วยเหตุนี้จึงทำให้การเหวี่ยงแขนลงไปทางด้านหลังวัดค่าเฉลี่ยของความเร็วของไม้เทนนิสได้ -5.8 เมตร/วินาที ส่วนขามีการเพิ่มการขจัดเชิงมุมที่ทำให้มีระยะทางเพิ่มขึ้นในการให้ไม้เทนนิสสามารถเร่งความเร็วเพื่อตีลูกเสิร์ฟได้ ผลของความเร็วเชิงเส้นนั้นมีการเพิ่มความเร็วมากยิ่งขึ้นโดยเฉพาะส่วนปลายในขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ แม้ว่านักเทนนิสทุกคนจะลดความเร็วของไม้เทนนิสอย่างเฉียบพลันก่อนที่ลูกจะกระทบหน้าไม้ ทำให้ผลของความเร็วเฉลี่ยของลูกเสิร์ฟ ในนักเทนนิสเพศหญิงเป็น 34.4 เมตร/วินาที และในนักเทนนิสเพศชายเป็น 42.4 เมตร/วินาที (9)

การศึกษาเปรียบเทียบท่าทางของการเสิร์ฟแบบ 3 มิติระหว่างนักเทนนิสชาวอังกฤษและนักเทนนิสชาวต่างประเทศ และหาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ (kinematic) ซึ่งส่งผลต่อความเร็วของลูกเทนนิสหลังกระทบหน้าไม้ การศึกษาในนักเทนนิสชาวอังกฤษ 7 คน (20 อันดับแรกของอังกฤษ) และนักเทนนิสต่างชาติ 7 คน (มีอันดับระดับต่ำกว่า 0 ในระบบ VM rating system) นักเทนนิสทุกคนถนัดแขนขวา โดยการใช้กล้องระบบ Phase-lock Photosonics 1 PL 2 ตัว ความถี่ 200 Hz ความเร็วของชัตเตอร์ (shutter speed) 1/450 วินาที ซึ่งวางทำมุมกัน 90 องศา ถ่ายภาพนักเทนนิสในช่วงฤดูร้อนในปี ค.ศ. 1990 ในการเสิร์ฟ 3 ครั้งแรกให้ลงจุดที่กำหนด พบว่า

1. นักเทนนิสชาวต่างชาติมีการใช้เวลาในการเคลื่อนเท้าหลังมาข้างหน้าหลังจากที่ลูกกระทบหน้าไม้ (1 วินาที) มากกว่าชาวอังกฤษ (0.60 วินาที) และใช้วิธีในการเคลื่อนเท้าแตกต่างกัน โดยนักเทนนิสชาวต่างชาติใช้เทคนิค foot-up ในขณะที่ชาวอังกฤษใช้เทคนิค foot-back ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างช่วงเวลาของการเคลื่อนเท้ากับความเร็วของลูกเทนนิสขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ กล่าวคือ เทคนิคแบบ foot-back มีความเร็วลูกเสิร์ฟมากกว่า
2. ในช่วงของการเหวี่ยงไม้เทนนิสไปทางด้านหลัง (backswing) หรือช่วงของการเตรียมพร้อม พบว่า ค่าเฉลี่ยของมุมข้อศอกที่น้อยที่สุด คือ 1.3 $\pm$ 0.25 เรเดียน และมุมของข้อเข่าที่น้อยที่สุดของนักเทนนิสชาวอังกฤษ คือ 1.94 $\pm$ 0.18 เรเดียน และของชาวต่างชาติ คือ 1.97 $\pm$ 0.24 เรเดียน
3. การเคลื่อนไหวของข้อสะโพกและข้อไหล่ พบว่า นักเทนนิสชาวอังกฤษมีความเร็วเชิงเส้นที่ข้อสะโพก, ข้อไหล่ และ ปลายไม้มากกว่านักเทนนิสชาวต่างชาติ แต่ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกันทั้งสองกลุ่ม
4. ในช่วงของการสร้างแรง โดยมีการหมุนของข้อสะโพกและลำตัวหลังจากการเคลื่อนที่ของไม้เทนนิสจากท่าเกาหลัง (back scratch position) ถึงจุดที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ พบว่า แม้ว่าช่วงเวลาในการเตรียมพร้อมจะเท่ากันในทั้ง 2 กลุ่ม (0.12 วินาที) แต่นักเทนนิสชาวอังกฤษสามารถเพิ่มความเร็วในการหมุนแขนข้างขวาได้เร็วกว่านักเทนนิสชาวต่างชาติ (ชาวอังกฤษ = -13.6 $\pm$ 2.4 เรเดียนต่อวินาที; ชาวต่างชาติ = -11.5 $\pm$ 0.97 เรเดียนต่อวินาที) ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในกรเพิ่มโมเมนตัมของไม้เทนนิสก่อนที่ลูกจะกระทบหน้าไม้
5. ความเร็วเชิงเส้นของส่วนต่างๆที่จุดลูกกระทบหน้าไม้ (Segment end-point linear speeds) พบว่านักเทนนิสทุกคนมีความเร็วเชิงเส้นเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในส่วนปลายสุดตั้งแต่ข้อไหล่ไปจนถึงปลายไม้เทนนิสขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ โดยที่นักเทนนิสชาวอังกฤษ

มีความเร็วเฉลี่ยที่บริเวณข้อไหล่, ข้อศอก และข้อมือมากกว่านักเทนนิสชาวต่างชาติ ซึ่งนักเทนนิสโดยส่วนใหญ่นั้นจะมีความเร็วของส่วนต่างๆสูงสุดก่อนที่ลูกจะกระทบหน้าไม้ยิ่งเป็นข้อต่อส่วนปลายยิ่งมีความเร็วสูงสุดใกล้กับเวลาที่ลูกกระทบหน้าไม้

6. การเคลื่อนที่ของลูกเทนนิส พบว่า การโยนของแต่ละบุคคลมีความแตกต่างกัน โดยที่ค่าเฉลี่ยของตำแหน่งที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ต่ำกว่าจุดสูงสุดที่ลูกถูกโยนขึ้นไปประมาณ 0.56 $\pm$ 0.30 เมตร ซึ่งค่าเฉลี่ยของความสูงของลูกเทนนิสขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้มีค่าคล้ายคลึงกันในทั้ง 2 กลุ่ม คือ 1.48 $\pm$ 0.10 เมตร และ 1.41 $\pm$ 0.05 เมตร ซึ่งเป็นสัดส่วนกับความสูงของนักเทนนิสชาวอังกฤษและชาวต่างชาติตามลำดับ **(11)**

การศึกษาวิธีการคิเนมาติกแบบสามมิติเพื่อคำนวณหาผลที่เกิดจากการหมุนส่วนต่างๆของแขนแล้วทำให้เกิดความเร็วของหน้าไม้เทนนิส โดยการพัฒนาวิธีการทางคิเนมาติกแบบสามมิติเพื่อคำนวณหาผลของการหมุนตามลักษณะกายวิภาคของแขนส่วนบน, แขนส่วนล่าง และมือที่ทำให้เกิดความเร็วของหน้าไม้เทนนิส โดยการพัฒนาด้วยระบบของสมการเวกเตอร์สำหรับการหมุนส่วนต่างๆของแขนแบบสามมิติ โดยดูจากการขจัดของจุดอ้างอิง (landmark) 10 จุด เพื่อใช้ในการคำนวณจากกล้อง 3 ตัวและวิธี DLT ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้การเสิร์ฟเทนนิสเพื่อนำมาวิเคราะห์ พบว่า สิ่งที่สนับสนุนให้เกิดความเร็วของหน้าไม้เทนนิสมากที่สุดในขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้คือ การหมุนแขนเข้าใน (8 เมตร/วินาที) แม้ว่าการคว่ำมือของแขนส่วนล่างจะหมุนเร็วที่สุด (24 เมตร/วินาที) ขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ แต่มีส่วนสนับสนุนให้เกิดความเร็วของหน้าไม้เทนนิสเพียง 4 เมตร/วินาที ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ในครั้งนี้ได้เปรียบเทียบระหว่างความเร็วของหน้าไม้เทนนิสโดยวิธีการวัดโดยตรงจากฟิล์มและความเร็วของหน้าไม้เทนนิสที่ได้จากการวิเคราะห์โดยคอมพิวเตอร์โดยใช้ผลรวมของการสนับสนุนของแต่ละส่วนของแขนตั้งแต่เริ่มมีการเหวี่ยงไม้ไปทางด้านหน้าจนถึงขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ ผลปรากฏว่า วิธีนี้สามารถวัดความเร็วของหน้าไม้เทนนิสจากการสนับสนุนของความเร็วที่เกิดจากส่วนต่างๆของแขนได้เป็นอย่างดี **(10)**

การศึกษาการหมุนของส่วนต่างๆของแขนในระหว่างการเสิร์ฟด้วยกำลังในกีฬาเทนนิส โดยทำการศึกษาในนักเทนนิสฝีมือดี 11 คน ถูกถ่ายภาพด้วยกล้อง Photosonics ความถี่ 200 Hz ขณะที่กำลังเสิร์ฟด้วยกำลัง แล้วใช้กรอบอ้างอิง 11 จุดในการคำนวณหาพิกัดแบบสามมิติ โดยใช้วิธี Direct linear transformation และคำนวณการหมุนของส่วนต่างๆของแขนโดยใช้สมการเวกเตอร์ พบว่า ปัจจัยที่ให้ค่าเฉลี่ยของความเร็วของจุดศูนย์กลางของไม้เทนนิสมีความเร็ว 31.0 เมตร/วินาทีในขณะที่ลูกกระทบหน้าไม้ คือ การหมุนเข้าด้านในของแขน 54.2% การงอข้อมือ 31.0% การยกแขนขึ้นและการกางแขนออก 12.9% และความเร็วเชิงเส้นของไม้เทนนิส 2.7%

ส่วนการเหยียดข้อศอกนั้นให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม (-14.4%) ซึ่งทำให้ความเร็วในการเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าของไม้เทนนิส ขณะที่กระทบลูกมีค่าลดลง (20)

งานวิจัยที่วิเคราะห์ตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส ได้แก่

การศึกษาการเคลื่อนที่ของลูกเทนนิสและไม้เทนนิสทั้งก่อนและหลังลูกกระทบหน้าไม้ โดยทำการศึกษาจากการแข่งขันเทนนิสในการแข่งขันโอลิมปิกเกมส์ที่แอตแลนต้า ปีค.ศ. 1996 โดยใช้กล้องความเร็วสูง 200 Hz 2 ตัวในการบันทึกภาพนักเทนนิส และกล้องความถี่ 60 Hz อีก 2 ตัวในการบันทึกภาพตำแหน่งการตกของลูกเทนนิส จากการวิเคราะห์การเสิร์ฟของนักเทนนิสแต่ละคนในการเสิร์ฟ 2 ครั้งแรก พบว่า ลูกเทนนิสจะเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้าและค่อนไปทางด้านซ้ายในระหว่างช่วงที่ลูกลอยอยู่ในอากาศก่อนที่จะกระทบหน้าไม้ และลูกเทนนิสจะถูกตีที่ใกล้กับจุดสูงสุดของไม้เทนนิส โดยที่นักเทนนิสชายจะตีลูกเทนนิสสูงกว่านักเทนนิสหญิง และนักเทนนิสชายจะมีความเร็วของไม้เทนนิสก่อนที่ลูกจะกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเทนนิสหลังกระทบหน้าไม้เร็วกว่านักเทนนิสหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p.<0.05$) โดยการศึกษาในครั้งนี้ไม่ได้พิจารณาถึงเทคนิคที่นักเทนนิสทั้งชายและหญิงใช้ในการที่ทำให้เกิดความเร็วของไม้เทนนิสที่แตกต่างกัน (4)

จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่าปัจจัยที่มีผลต่อความเร็วของลูกเสิร์ฟในการแข่งขันเทนนิส ที่การศึกษาวิจัยก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่เป็นการวิจัยโดยการจำลองสถานการณ์จริงเพื่อศึกษาถึงท่าทางการเสิร์ฟที่มีความเร็วสูงเพื่อลงเป้าหมายที่กำหนด และมีงานวิจัยไม่มากนักที่ทำการศึกษาในการแข่งขันแต่ก็ไม่ได้ทำการศึกษาตลอดการแข่งขัน ดังนั้นการศึกษาวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาในสนามการแข่งขันตลอดการแข่งขัน จึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับการแข่งขันได้ง่าย เพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระยะเวลาตั้งแต่ลูกเทนนิสขณะลอยสูงสุดถึงลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้และความเร็วของลูกเทนนิสในระหว่างการเสิร์ฟมาก่อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สนใจที่จะทำการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้และผลของการศึกษาวิจัยนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนานักกีฬาเทนนิสของไทยต่อไป