



# ผลของตัวขับเคลื่อนต่อการสั่นที่บริเวณด้านจับขณะตีลูกเทนนิส

เมษันท์ ปรมาธิกุล, พ.บ. ว.ว.ศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์<sup>1,2\*</sup>

ฐิติ มีโอกาสมงคล, พ.บ. ว.ว.ศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์<sup>1</sup>

บุญศักดิ์ หล่อพิพัฒน์ พธด.<sup>2</sup>

เฉลิม ชัยวัชรารณ<sup>2</sup>

ทศพร ยิ้มลมัย<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ภาควิชาศัลยศาสตร์ออร์โธปิดิกส์ คณะแพทยศาสตร์วชิรพยาบาล มหาวิทยาลัยนวมินทราธิราช กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

<sup>2</sup> คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

\* ผู้ติดต่อ, อีเมล: mason@nmu.ac.th

Vajira Med J. 2020; 64(3) : 181-92

<http://dx.doi.org/10.14456/vmj.2020.18>

## บทคัดย่อ

**วัตถุประสงค์:** เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของตัวขับเคลื่อนต่อแรงกระแทก (impact force) และการสั่นสะเทือน (vibration) ที่บริเวณด้านจับไม้เทนนิส เมื่อจุดกระทบของลูกเทนนิสมีความแตกต่างกัน

**วิธีดำเนินการวิจัย:** ใช้เครื่องเสิร์ฟลูกเทนนิสอัตโนมัติที่ความเร็วไม้เทนนิส 32 เมตรต่อวินาที จำลองการเสิร์ฟลูกเทนนิส โดยกำหนดจุดกระทบ 4 ตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าไม้ (center) ตำแหน่งเหนือกึ่งกลางหน้าไม้ (above center) ตำแหน่งใต้กึ่งกลางหน้าไม้ (below center) และตำแหน่งข้างกึ่งกลางหน้าไม้ (off-axis) โดยติดเซนเซอร์วัดแรงไว้ที่ด้ามไม้เทนนิส จากนั้นนำแรงกระทำที่ได้มาหาการสั่นสะเทือนโดยใช้ Fourier transform เปลี่ยนแรงกระทำเป็นความถี่ ทำการเปรียบเทียบแรงกระทำและความถี่ ระหว่างการตีโดยไม่ติดตัวขับเคลื่อน และติดตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบ ที่ตำแหน่งที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้แตกต่างกัน

**ผลการวิจัย:** เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งใต้กึ่งกลางหน้าไม้ พบว่าทั้งตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 ชนิด สามารถลดการสั่นสะเทือนได้คลื่นความถี่ที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวขับเคลื่อนแบบกระดุมสามารถลดช่วงคลื่นความถี่ที่ 3 จาก  $191.7 \pm 2.6$  เฮิร์ตซ์ เป็น  $172.9 \pm 2.8$  เฮิร์ตซ์ ( $p = 0.001$ ) ตัวขับเคลื่อนแบบยางรัดสามารถลดช่วงคลื่นความถี่ที่ 3 เป็น  $176.8 \pm 4.4$  เฮิร์ตซ์ ( $p = 0.005$ ) และตัวขับเคลื่อนแบบตัวหนอนสามารถลดช่วงคลื่นความถี่ที่ 3 เป็น  $178.8 \pm 3.8$  เฮิร์ตซ์ ( $p = 0.011$ ) ในขณะที่การตีที่ตำแหน่งอื่นๆนั้น ได้ผลไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้พบว่าตัวขับเคลื่อนทั้งสามรูปแบบไม่สามารถลดแรงกระทำได้ไม่ว่าจะตีที่ตำแหน่งใดๆ

**สรุป:** ตัวขับเคลื่อนทั้งแบบกระดุม ยางรัด และตัวหนอน สามารถลดการสั่นสะเทือนในคลื่นความถี่ที่ 3 เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งใต้กึ่งกลางหน้าไม้

**คำสำคัญ:** ตัวขับเคลื่อน, การสั่นสะเทือน, จุดกระทบลูก, ด้ามจับไม้เทนนิส



# The Effect of Damper on Tennis Racket Handle Impact Force after Ball Impaction

Mason Porramatikul, MD.<sup>1,2\*</sup>

Thiti Meeopartmongkon, MD.<sup>1</sup>

Boonsakdi Lorpipatana Ph.D.B.S.<sup>2</sup>

Chalerm Chaiwatcharaporn Ed.D.<sup>2</sup>

Tossaporn Yimlamai Ph.D.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of orthopedics, Faculty of medicine, Vajira hospital, Navamindradhiraj University, Bangkok, Thailand

<sup>2</sup> Faculty of sport science, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

\* Corresponding author, e-mail address: mason@nmu.ac.th

Vajira Med J. 2020; 64(3) : 181-92

<http://dx.doi.org/10.14456/vmj.2020.18>

## Abstract

**Objective:** To compare the peak force and vibration at tennis racket grip between different dampers and different tennis ball impact locations.

**Methods:** The peak force and vibration was measured at tennis rackets grips between 4 different damping conditions which were no damper, button damper, rubber band damper and worm damper. Tennis balls were served using a tennis strike-simulating machine with speed 32m/s. The peak force were recorded from a wireless force transducer attached to the grip during four locations on string bed: center, above center, below center, and off-axis. Vibration was calculated from time domain using Fourier transform.

**Results:** At a below center impact location, the button damper yielded a 10% reduction in some harmonic of the racket's vibration from  $191.7 \pm 2.6$  Hz to  $172.9 \pm 2.8$  Hz ( $p = 0.001$ ), the rubber band damper yielded a 8% reduction from  $191.7 \pm 2.6$  Hz to  $176.8 \pm 4.4$  Hz ( $p = 0.005$ ), whereas the worm damper yielded a 7% reduction from  $191.7 \pm 2.6$  Hz to  $178.8 \pm 3.8$  Hz ( $p = 0.011$ ). No significant effect of damper types on the vibration with the others impacts location. These dampers did not reduce the impact force at the grip regardless of the location.

**Conclusion:** Damper reduced the racket's vibration when the ball impacts a below center position.

**Keywords:** damper, vibration, peak force, ball impact location, tennis racket handle

## บทนำ

ในการตีเทนนิสแต่ละครั้ง เมื่อลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ แรงจะถูกส่งมาสู่ข้อมือและข้อศอกของนักเทนนิสในลักษณะของแรงกระทำ (impact force) และการสั่นสะเทือน (post-impact vibration) เมื่อถูกแรงดังกล่าวกระทำซ้ำๆ ก็สามารถทำให้เกิดการบาดเจ็บได้ โดยมีรายงานวิจัยพบอุบัติการณ์การบาดเจ็บของรยางค์ส่วนบนประมาณร้อยละ 20-49<sup>1-3</sup> และกล้ามเนื้อที่พบการบาดเจ็บได้บ่อยคือ กล้ามเนื้อบริเวณข้อศอกและที่บริเวณข้อมือ<sup>4-7</sup> ซึ่งแรงกระทำเหล่านี้จะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัย เช่น ลักษณะโครงไม้ (racket structural property), ความเร็วหน้าไม้ (racket swing velocity), ความตึงเอ็นหน้าไม้ (string tension), แรงจับด้ามไม้ (grip force), ลักษณะการตี (stroke), ชนิดของลูกเทนนิส (tennis ball) และจุดกระทบลูก (ball impact location)<sup>8</sup> ดังนั้นถ้าเราสามารถลดแรงกระทำดังกล่าวได้อาจส่งผลให้การบาดเจ็บลดลง การใช้ตัวซับแรง (damper) ซึ่งติดไว้ที่หน้าไม้ นั้น เชื่อว่าสามารถลดแรงกระทำและการสั่นสะเทือนของด้ามไม้ในขณะที่ตีลูกได้ ส่งผลให้การบาดเจ็บของนักกีฬาลดลง อย่างไรก็ตามยังไม่มีงานวิจัยใดที่ยืนยันทฤษฎีนี้ได้อย่างแน่ชัด

ตัวซับแรงมีการผลิตรูปแบบต่างๆ กันมากมาย ซึ่งต้องมีลักษณะเป็นไปตามข้อกำหนดของสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ (ITF) ซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มลักษณะได้เป็น 3 กลุ่มใหญ่ๆ คือ ตัวซับแรงรูปกระดุม (button damper) มีลักษณะคล้ายกระดุมใช้ติดที่เอ็นแนวตั้งสองเส้น เอ็นแนวนอนหนึ่งเส้น ตัวซับแรงรูปร่างรัด (rubber band) ใช้รัดเอ็นแนวตั้งสองเส้น และตัวซับแรงรูปตัวหนอน (worm damper) ซึ่งมีลักษณะเป็นเส้นยาวคล้ายตัวหนอน ใช้คล้องผ่านเส้นเอ็นแนวตั้งหลายเส้น

ที่ผ่านมาจึงมีงานวิจัยเกี่ยวกับผลของตัวซับแรงไม่มากนัก มีการทดลองที่พบประโยชน์ของตัวซับแรงในบางสถานการณ์ เช่น Ameer และคณะ พบว่าในขณะที่ตี backhand stroke ตัวซับแรงช่วยลด myoelectric activity ของ wrist extensor muscle ในนักเทนนิสประสบการณ์น้อย (1-2 ปี) แต่ไม่ได้ลดในกลุ่มของนักเทนนิสประสบการณ์เยอะ (5-7 ปี)<sup>9</sup> Timme และคณะ ได้สร้างแบบจำลองการสั่นของหน้าไม้ในแบบต่างๆ พบว่าตัวซับแรงสามารถลดการสั่นสะเทือน (vibration) ได้ในไม้เทนนิสที่มีรูปแบบการสั่นของเอ็นหน้าไม้เทนนิส (Mode shape) บางรูปแบบที่มีความถี่สูง (>800 เฮิรตซ์)<sup>10</sup>

อย่างไรก็ตามมีการศึกษาที่เห็นแย้งเรื่องประโยชน์ของตัวซับแรง เช่น Stroede และคณะ พบว่าตัวซับแรงไม่ได้ช่วยลดการสั่นสะเทือนของโครงด้ามไม้ในขณะที่ตีลูก โดยให้เหตุผลว่าเป็นเพราะตัวซับแรงมีมวลที่น้อยเกินไป (5-10 g) เมื่อเทียบกับมวลของไม้เทนนิส (>200 g) จึงส่งผลให้ข้อมือสั่นสะเทือนของด้ามไม้ไม่ได้<sup>11</sup> Li และคณะได้ศึกษาผลของตัวซับแรงพบว่าตัวซับแรงไม่ได้ช่วยลดทั้งแรงกระทำและแรงสั่นสะเทือนในขณะที่ตีลูก ไม่ว่าจะเป็นการตีที่ตำแหน่งใดๆ ไม่ว่าจะเป็นการตีลูกที่ dead spot (เกิดการสั่นสะเทือนที่มี amplitude สูง) หรือการตีลูกที่ node spot (เกิดการสั่นสะเทือนที่มี amplitude ต่ำ) ก็ตาม<sup>12</sup> Mohr และคณะพบว่าตัวซับแรงสามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนเฉพาะที่บริเวณเอ็นหน้าไม้และช่วยลดเสียงรบกวน noise ขณะตีลูกได้<sup>13</sup> อย่างไรก็ตามการศึกษานี้ไม่ได้ศึกษาผลของตัวซับแรงด้านการสั่นสะเทือนของโครงด้ามไม้

งานวิจัยหลายฉบับได้ยืนยันผลของจุดกระทบของลูกเทนนิสบนหน้าไม้ที่มีต่อแรงกระทำที่มือและแขน<sup>14-17</sup> เช่น Henning พบว่า ในขณะที่ลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้ที่เหนือจุดศูนย์กลาง 12 cm จะเกิดการสั่นที่บริเวณข้อมือมากกว่าลูกเทนนิสกระทบกลางหน้าไม้ถึง 3 เท่า<sup>18-19</sup> เป็นต้น แต่ยังไม่มีการวิจัยใดทดสอบผลของการติดตัวซับแรงในกรณีที่จุดกระทบมีความแตกต่างกัน

ความเร็วหน้าไม้มีผลต่อแรงกระทำและการสั่นของไม้เช่นกัน ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ศึกษาผลของการติดตัวซับแรงในขณะที่ไม้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วสูงกว่า 20 เมตร/วินาทีมาก่อน ด้วยข้อจำกัดของการออกแบบการทดลอง<sup>12, 19-22</sup> แต่ในการเสิร์ฟของนักเทนนิสอาชีพจะมีความเร็วของไม้ประมาณ 32 เมตร/วินาที งานวิจัยที่ผ่านมาของคณะผู้จัดทำเป็นการทดลองภายใต้ความเร็วหน้าไม้ที่สูงใกล้เคียงนักเทนนิสอาชีพ ผลการทดลองพบว่าตัวซับแรงรูปแบบกระดุม และรูปแบบตัวหนอนสามารถลดระยะเวลาการสั่นสะเทือน (damping time) ของด้ามไม้เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ<sup>23</sup>

งานวิจัยชิ้นนี้จึงได้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาผลของตัวซับแรงเพิ่มเติมในเรื่องผลด้านการสั่นสะเทือน (vibration) ของด้ามไม้ ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยใช้แรงกระทำผ่านสมการ Fourier transform และได้เพิ่มตัวแปรต้นคือตัวซับแรงรูปแบบต่างๆ เพื่อให้ครอบคลุมรูปแบบของตัวซับแรงที่มีใช้ในปัจจุบันมากยิ่งขึ้น

### วัตถุประสงค์

เพื่อเปรียบเทียบแรงกระทำและการสั่นสะเทือนที่บริเวณด้ามจับ ระหว่างการไม่ใช้ตัวขับเคลื่อนกับการใช้ตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบ ที่จุดกระทบแตกต่างกัน โดยการทดลองนี้เป็นการจำลองการเสิร์ฟจริงด้วยการเหวี่ยงไม้เข้าหาลูกเทนนิสด้วยความเร็วสูงด้วยเครื่องเสิร์ฟอัตโนมัติ และมีการควบคุมปัจจัยต่างๆ ที่อาจส่งผลต่อแรงกระทำ เช่น ชนิดของไม้ ชนิดของเอ็น แรงตึงเอ็น ความเร็วหน้าไม้ จุดกระทบ เป็นต้น

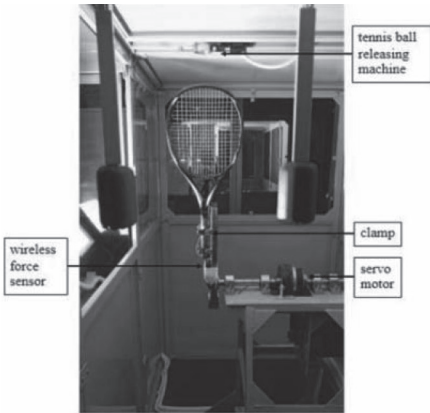
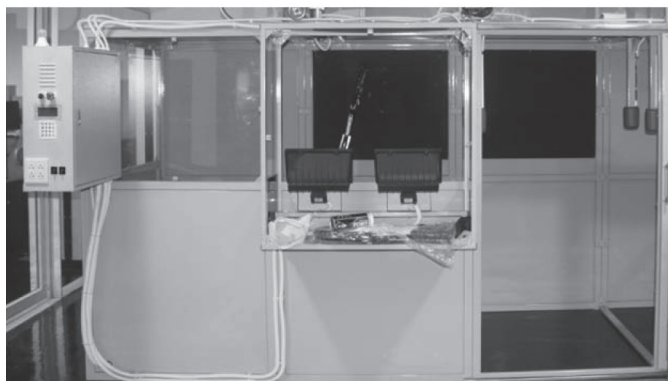
### วิธีดำเนินการวิจัย

นำไม้เทนนิส YONEX (EZONE Xi 100, USA) ซึ่งมีน้ำหนัก 300 กรัม พื้นที่หน้าไม้ 100 ตารางนิ้ว ค่าความแข็ง 67 ความหนา 24 มม./ 26 มม./ 22 มม. ขึ้นเอ็นให้ได้ค่าความตึงเอ็นหน้าไม้  $60 \pm 2$  ปอนด์ ซึ่งเป็นความตึงเอ็นหน้าไม้ที่นักเทนนิสอาชีพทั่วไปนิยมใช้ (รูปที่ 1) มาติดตั้งเข้ากับเครื่องเสิร์ฟลูกเทนนิสอัตโนมัติ (รูปที่ 2) ทำการจำลองการเสิร์ฟลูกแฟลทด้วยเครื่องทดสอบในห้องปฏิบัติการ โดยนำไม้เทนนิสมาติดตั้งและยึดไว้กับแท่นหมุนเหวี่ยงที่สามารถปรับตั้งค่าความเร็วในการหมุนได้ โดยกำหนดความเร็วไว้ที่ 450 รอบ/นาที จะได้ความเร็วเชิงมุม (angular velocity) 47.12 rad/วินาที ซึ่งจะใกล้เคียงกับความเร็วของไม้ก่อนกระทบลูกในการแข่งขันเทนนิสจริง (ประมาณ 32 ม./วินาที)

และสามารถปรับเพื่อหาดำแหน่งจุดกระทบของลูกเทนนิสบนเอ็นหน้าไม้ได้จากชุดอุปกรณ์ความคุมการปล่อยลูก พร้อมทั้งติดตั้งตัววัดแรง (wireless force transducer) เข้ากับด้ามไม้ตัววัดแรง (wireless force transducer) Flexiforce WB201-H (Tekscan,USA) (รูปที่ 3) คืออุปกรณ์ที่ใช้ Piezoelectric sensor ซึ่งมีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงกดให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ จึงสามารถนำมาใช้วัดแรงกระทำ แล้วแปลผลออกมาแสดงเป็นกราฟแรงกระทำ (นิวตัน) ที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ผ่านสัญญาณไร้สายได้



รูปที่ 1: การวัดความตึงเอ็นหน้าไม้เทนนิส



รูปที่ 2: เครื่องเสิร์ฟลูกเทนนิสอัตโนมัติ ณ ศูนย์ทดสอบวิจัยวัสดุและอุปกรณ์ทางการกีฬา (testing research center for sport material and equipment) คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3: ตัววัดแรง (WELF system transmitter และ flexiforce sensor (Tekscan, USA))

### ขั้นตอนการทดลอง

ปล่อยลูกบอลลงมาตามแนวตั้ง เครื่องเสิร์ฟลูกเทนนิสอัตโนมัติจะจำลองการเสิร์ฟโดยสามารถควบคุมความเร็วหน้าไม้ให้คงที่และกำหนดจุดกระทบลูกได้อย่างแม่นยำ ใช้เครื่องบันทึกภาพความเร็วสูง DMAS 2,000 เฮิร์ตซ์ 2 ตัว (กล้องตัวที่ 1 จะถูกตั้งระนาบด้านข้างไม้เทนนิสเพื่อดูจังหวะที่บอลกระทบหน้าไม้ กล้องตัวที่ 2 จะถูกตั้งไว้ที่ระนาบด้านหลังไม้เทนนิสเพื่อยืนยันตำแหน่งที่บอลตกกระทบ) เริ่มทดสอบที่จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (center) โดยจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (geometric string center) กำหนดได้จากจุดตัดของเส้นกึ่งกลางหน้าไม้เทนนิสตามแนวตั้งและแนวนอน ตามรูปที่ 4A

ลูกเทนนิสที่ใช้คือ Dunlop FORT all court ซึ่งได้รับการทดสอบว่าได้มาตรฐานตามข้อกำหนดของสหพันธ์เทนนิสนานาชาติ (ITF) คือมีน้ำหนักอยู่ระหว่าง 1.975 ออนซ์ (56.0 กรัม) ถึง 2.095 ออนซ์ (59.4 กรัม)<sup>18</sup> และมีการทดสอบก่อนทดลองต้องกระดอนสูงกว่า 53 นิ้ว (134.62 ซม.) แต่ไม่เกิน 58 นิ้ว (147.32 ซม.) เมื่อปล่อยให้ตกจากความสูง 100 นิ้ว (254.00 ซม.) บนพื้นที่มีผิวราบแข็ง ซึ่งลูกบอลแต่ละลูกจะใช้เสิร์ฟไม่เกิน 45 ครั้ง เมื่อความสูงของลูกเทนนิสไม่ได้ตามมาตรฐานจะเปลี่ยนลูกเทนนิสใหม่<sup>24</sup>

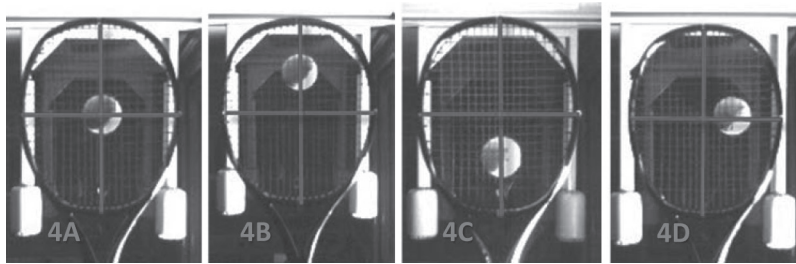
อ่านผลกราฟของแรงกระทำที่บริเวณด้ามจับมาแสดงที่หน้าจอคอมพิวเตอร์ได้ (รูปภาพที่ 5) โดยจุด A คือจุดที่เริ่มมีแรงมากระทำ, จุด B คือจุดที่เกิดแรงกระทำสูงสุด (peak force), และจุด C คือจุดสิ้นสุดแรงกระทำบันทึกผล peak force ซึ่งสามารถหาช่วงเวลาที่เหมาะสมระดับ 1/6,000 วินาที ได้จาก

โปรแกรม flexiforce WELF system ทำการทดลองซ้ำจุดกระทบลูก 3 ครั้ง

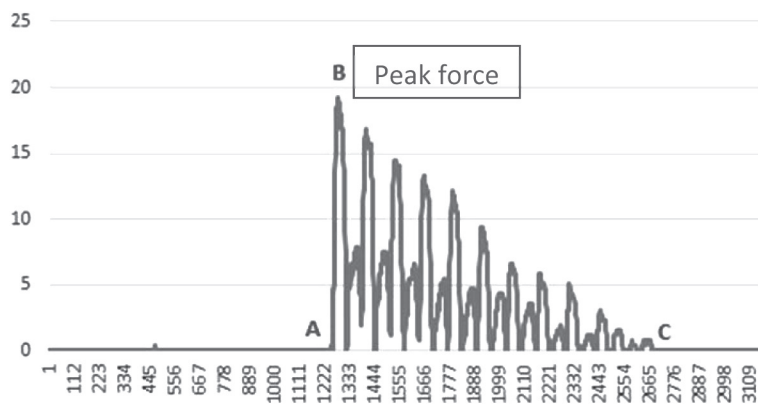
ติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุมซึ่งมีร่องด้านข้างเอาไว้ให้สอดเอ็น เอ็นจะถูกหนีบอยู่กับผิวบนและผิวด้านข้างของตัวจับแรงโดยจัดขอบบนให้ชิดเอ็นแนวขวางเส้นแรก และอยู่ระหว่างเอ็นแนวตั้ง 2 เส้นกลาง (รูปภาพ 6B) ทำการทดลองเช่นเดิม จากนั้นสลับใช้ตัวจับแรงรูปแบบยางรัดซึ่งใช้รัดเอ็นแนวตั้งตรงกลางสองเส้น จัดขอบบนให้ชิดเอ็นแนวขวางเส้นแรก (รูปที่ 6C) สุดท้ายใช้ตัวจับแรงรูปแบบตัวหนอนซึ่งมีลักษณะยาวใช้สอดระหว่างเอ็นแนวตั้ง 8-10 ช่องตรงกลาง โดยจะสอดสลับกันระหว่างด้านบนและด้านล่างของเอ็นแนวตั้ง และติดใต้เอ็นแนวขวางเส้นล่างสุด 5 มม. (รูปที่ 6D) จากนั้นเปลี่ยนจุดกระทบลูกเป็น จุดที่ 2 เหนือกึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม. จุดที่ 3 ใต้กึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม. และจุดที่ 4 ข้างกึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม. ตามลำดับ (รูปที่ 4) ทดลองโดยไม่ติดตัวจับแรง, ติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุม, ติดตัวจับแรงรูปแบบยางรัด, และติดตัวจับแรงรูปแบบตัวหนอนในทุกๆ จุดกระทบลูก

ส่วนความตึงของเอ็นที่ใช้จะทำการตรวจค่าความตึงใหม่ต่อการตีทุกๆ 10 ครั้ง เพื่อให้ค่าความตึงของเอ็นเป็นค่าคงที่มากที่สุด (ชัยสิทธิ์ ภาวิลาส 2014)<sup>24</sup> เพื่อควบคุมปัจจัยที่อาจมีผลต่อการทดลองให้ได้มากที่สุด

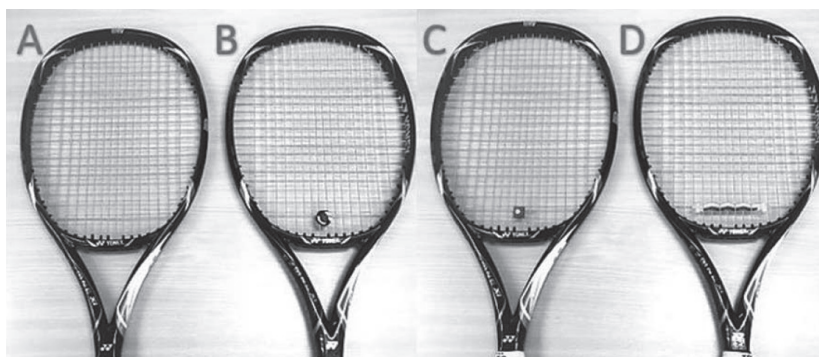
จากนั้นใช้ Fourier transform เปลี่ยนข้อมูลจาก time domain เป็น frequency domain เพื่อวิเคราะห์หาความถี่ของการสั่นของด้ามไม้เทนนิส



**รูปที่ 4:** แสดงตำแหน่งการใช้เครื่องจับภาพความเร็วสูง และตำแหน่งตกระทบของบอลที่ต้องการจะศึกษา โดยที่ตำแหน่งที่ 1 (รูป 4A) คือ จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (GSC), ตำแหน่งที่ 2 (รูป 4B) คือ จุดเหนือกึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม. (ประมาณ 1 ลูกเทนนิส), ตำแหน่งที่ 3 (รูป 4C) คือ จุดใต้กึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม. และตำแหน่งที่ 4 (รูป 4D) คือ จุด off-axis อยู่ข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ 6 ซม.



**รูปที่ 5:** แสดงตัวอย่างผลการทดลองที่ได้จากตัว sensor โดยที่ แกน Y คือ แรงกระทำ (force) หน่วยเป็น ร้อยละ (%) ที่ sensor รับผิดชอบสูงสุด (667N) แกน X คือเวลา ( $10^{-4}$  second) โดยที่ จุด A คือ จุดที่เริ่มมีแรงกระทำ, จุด B คือ จุดที่มีแรงกระทำสูงสุด (peak force) และจุด C คือ จุดสิ้นสุดแรงกระทำ



**รูปที่ 6:** ตัวซัพแรงที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ไม้เทนนิสที่ไม่ติดการสั่น (A), ติดตัวซัพแรงแบบกระดุม (button damper) (custom damp, Babolat, France) (B), ติดตัวซัพแรงแบบยางรัด (rubber band damper) (Solaris shock off, unique sports, USA) และติดตัวซัพแรงแบบตัวหนอน (worm damper) (Shockbuster II, Gamma, USA) (D)

### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ใช้โปรแกรม SPSS ver.22.0 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยสถิติ one-way ANOVA หาความสัมพันธ์ของกลุ่มตัวแปร (damped condition) ในแต่ละตำแหน่ง (location) ถ้าพบตำแหน่งใดมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จะนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างรายคู่ด้วยวิธี Bonferroni โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

### ผลการวิจัย

จากการทดลองตีลูกเทนนิสด้วยเครื่องเสิร์ฟอัตโนมัติ โดยใช้ไม้เทนนิส YONEX รุ่น EZONE Xi 100, ความตึงเอ็นหน้าไม้ 60 ปอนด์, ความเร็ว 32 ม./นาที่ ได้ผลการทดลอง ดังนี้

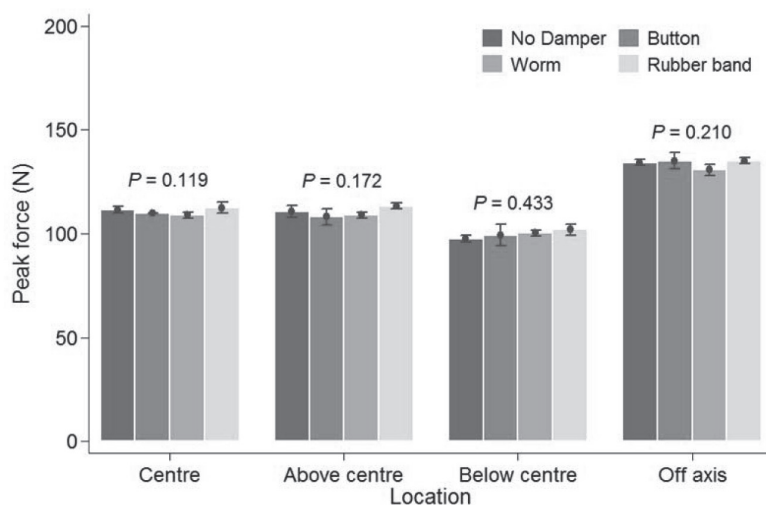
#### Peak force

ตำแหน่งจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (center) เมื่อไม่ติดตัวจับแรงวัด peak force ได้  $111.6 \pm 1.5$  N เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุมวัดได้  $109.9 \pm 0$  N เมื่อติดตัวจับแรงแบบยางรัดวัดได้  $112.5 \pm 2.6$  N เมื่อติดตัวจับแรงแบบตัวหนอนวัดได้  $109.0 \pm 1.5$  N ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบด้วยวิธี one-way ANOVA พบว่าตัวจับแรงทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้มีผลช่วยลด peak force ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.119$ ) เมื่อตีลูกที่จุดกึ่งกลางหน้าไม้ ดังรูปที่ 7

ตำแหน่งเหนือจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (above center) เมื่อไม่ติดตัวจับแรงวัด peak force ได้  $110.7 \pm 3.0$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุมวัดได้  $108.1 \pm 4.0$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบยางรัดวัดได้  $113.3 \pm 1.5$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบตัวหนอนวัดได้  $109.0 \pm 1.5$  N ซึ่งเปรียบเทียบแล้ว พบว่าตัวจับแรงทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้มีผลช่วยลด peak force ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.172$ ) เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งเหนือจุดกึ่งกลางหน้าไม้

ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (below center) เมื่อไม่ติดตัวจับแรงวัด peak force ได้  $97.6 \pm 1.5$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุมวัดได้  $99.4 \pm 5.2$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบยางรัดวัดได้  $102.0 \pm 2.6$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบตัวหนอนวัดได้  $100.3 \pm 1.5$  N ซึ่งเปรียบเทียบแล้ว พบว่าตัวจับแรงทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้มีผลช่วยลด peak force ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.433$ ) เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้

ตำแหน่งข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (off-axis) เมื่อไม่ติดตัวจับแรงวัด peak force ได้  $134.3 \pm 1.5$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบกระดุมวัดได้  $135.1 \pm 4.0$  N, เมื่อติดตัวจับแรงแบบยางรัดวัดได้  $135.1 \pm 1.5$  N, เมื่อติดตัวจับแรงรูปแบบตัวหนอนวัดได้  $130.8 \pm 2.6$  N ซึ่งเปรียบเทียบแล้ว พบว่าตัวจับแรงทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้มีผลช่วยลด peak force ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p=0.210$ ) เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้



รูปที่ 7: แผนภูมิแท่งแสดงค่าแรงกระแทกสูงสุด (N) ของค่าเฉลี่ยการตีในแต่ละตำแหน่ง (\*CN = Center, AC = Above center, BC = Below center, OA = Off-axis, N = No damper, D1 = Button damper, D2 = Worm damper)

สำหรับปัจจัยของตำแหน่งกระทบลูก (location) พบว่ามีผลต่อ peak force โดย peak force จะมีค่ามากที่สุดที่ตำแหน่งข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้และน้อยที่สุดที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ในทุกภาวะการติดหรือไม่ติดตัวช่วยแรง ซึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p < 0.001$ )

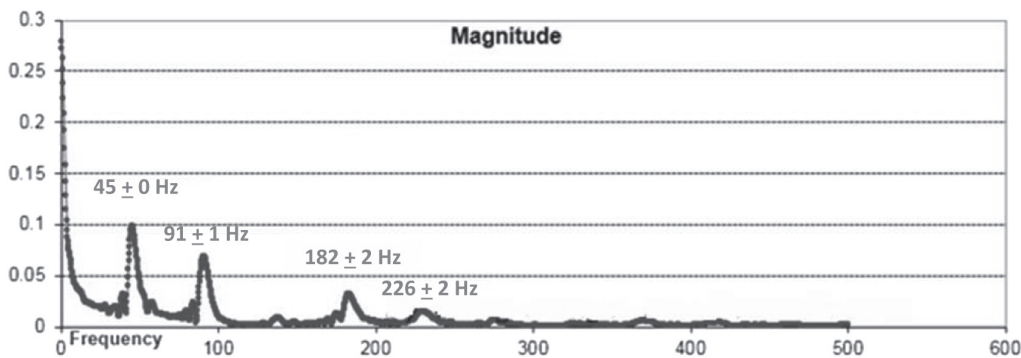
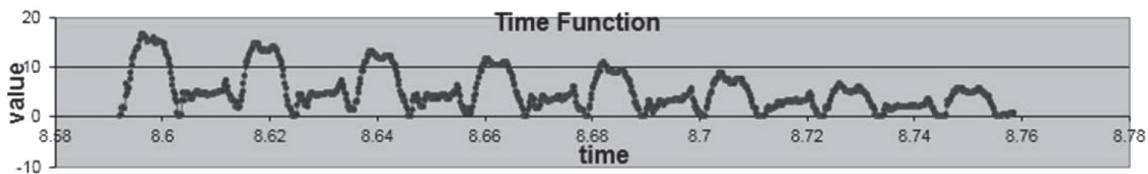
**Vibration**

การหาการสั่นสะเทือน สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนค่าของแรงต่อเวลาใน time domain ซึ่งเป็นผลที่บันทึกได้จาก force sensor มาเป็น frequency domain โดยใช้สมการของ Fourier transform

เมื่อใช้ Fourier transform แปลงความสัมพันธ์ของ amplitude ต่อเวลา เป็น amplitude ต่อ ความถี่ (frequency) ดังรูปที่ 8 เพื่อหาว่าแรงกระทำที่เกิดขึ้นนั้นทำให้เกิดความถี่เท่าไรบ้าง และปริมาณของคลื่นในแต่ละความถี่มากน้อยเพียงใด พบว่าในการตีแต่ละครั้งจะเกิดแรงสั่นสะเทือนหลักๆ 4 คลื่นความถี่ (harmonic vibration) ค่าเฉลี่ย  $45 \pm 0$  เฮิร์ตซ์,  $91 \pm 1$  เฮิร์ตซ์,  $182 \pm 2$  เฮิร์ตซ์, และ  $226 \pm 2$  เฮิร์ตซ์ ดังรูปที่ 8

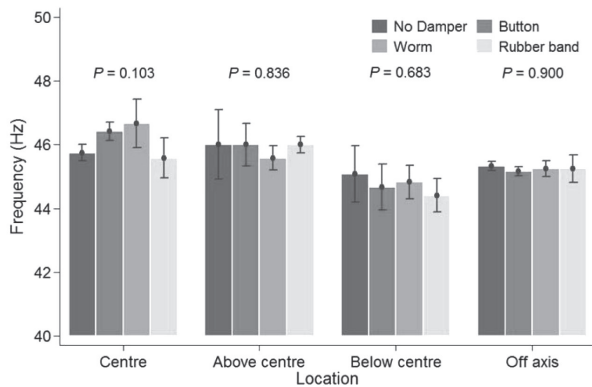
ผลการทดลองพบว่า ในคลื่นความถี่ที่ 3 ( $182 + 2$  เฮิร์ตซ์) เมื่อตีลูกที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (below center)

เมื่อไม่ติดตัวช่วยแรงวัดความถี่ได้  $191.7 \pm 2.6$  เฮิร์ตซ์, เมื่อติดตัวช่วยแรงรูปแบบกระดุมวัดได้  $172.9 \pm 2.8$  เฮิร์ตซ์, เมื่อติดตัวช่วยแรงรูปแบบตัวหนอนวัดได้  $178.8 \pm 3.8$  เฮิร์ตซ์, ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธี one-way ANOVA พบว่าตัวช่วยแรงรูปแบบกระดุมช่วยลด harmonic vibration ที่ 3 ลงได้ประมาณ 19 เฮิร์ตซ์ ตัวช่วยแรงรูปแบบยางรัดช่วยลด harmonic vibration ที่ 3 ลงได้ประมาณ 15 เฮิร์ตซ์ และตัวช่วยแรงรูปแบบตัวหนอนช่วยลด harmonic vibration ที่ 3 ลงได้ประมาณ 13 เฮิร์ตซ์ ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.001, 0.005$  และ  $0.011$  ตามลำดับ) และเมื่อใช้วิธี bonferroni เปรียบเทียบผลในการลด harmonic vibration ที่ 3 ซึ่งตัวช่วยแรงรูปแบบกระดุมสามารถลดได้มากกว่าตัวช่วยแรงรูปแบบยางรัดประมาณ 4 เฮิร์ตซ์ และมากกว่าตัวช่วยแรงรูปแบบตัวหนอนประมาณ 6 เฮิร์ตซ์ นั้นพบว่าไม่ได้แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 1.0$  และ  $0.25$  ตามลำดับ) ในขณะที่การตีลูกที่ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าไม้ (center), เหนือจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (above center) และข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (off-axis) นั้น พบว่าตัวช่วยแรงทั้ง 3 รูปแบบไม่ได้มีผลในการช่วยลดความถี่ที่ 3 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p = 0.762, 0.449$  และ  $0.073$  ตามลำดับ)

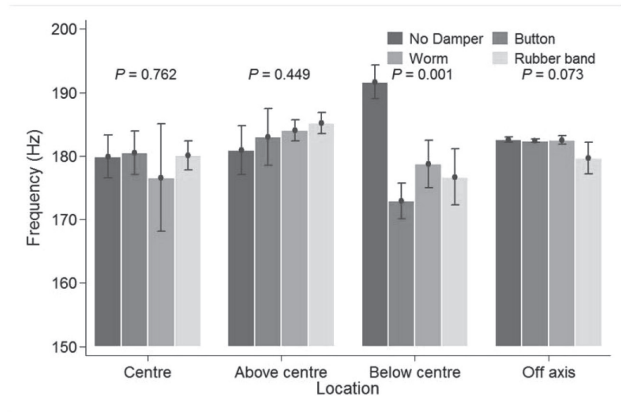


รูปที่ 8: การใช้ Fourier transform เปลี่ยนข้อมูลจาก time domain เป็น frequency domain

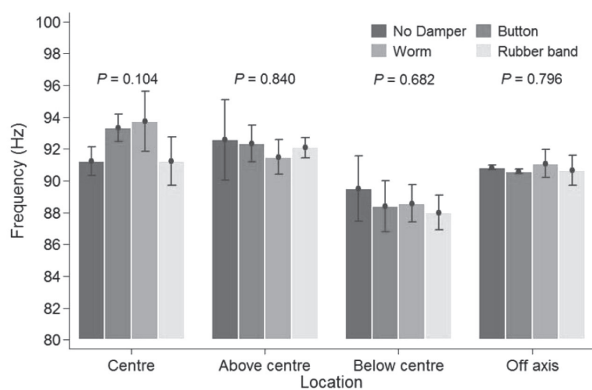




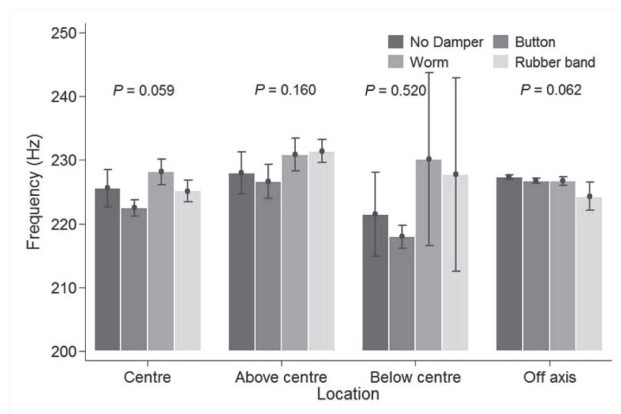
Harmonic Vibration 1



Harmonic Vibration 3



Harmonic Vibration 2



Harmonic Vibration 4

**รูปที่ 9:** แสดงผลด้านการสั่นสะเทือนทั้ง 4 คลื่นความถี่ โดย harmonic vibration 1 คือคลื่นความถี่  $45 \pm 0$  เฮิรตซ์, harmonic vibration 2 คือคลื่นความถี่  $91 \pm 1$  เฮิรตซ์, harmonic vibration 3 คือคลื่นความถี่  $182 \pm 2$  เฮิรตซ์, และ harmonic vibration 4 คือคลื่นความถี่  $226 \pm 2$  เฮิรตซ์ พบว่าตัวช่วยแรงทุกรูปแบบช่วยลด harmonic vibration ที่ 3 ลงได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเสิร์ฟลูกที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (below center) ( $p = 0.001, 0.005$  และ  $0.011$  ตามลำดับ)

สำหรับคลื่นความถี่ที่ 1 ( $45 \pm 0$  เฮิรตซ์), คลื่นความถี่ที่ 2 ( $91 \pm 1$  เฮิรตซ์) และ คลื่นความถี่ที่ 4 ( $226 \pm 2$  เฮิรตซ์) พบว่าตัวช่วยแรงทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้มีผลในการช่วยลดความถี่ดังกล่าวได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ไม่ว่าจะเป็นการตีที่ตำแหน่งกึ่งกลางหน้าไม้ ( $p = 0.103, 0.104$  และ  $0.059$  ตามลำดับ), เหนือกึ่งกลางหน้าไม้ ( $p = 0.836, 0.840$  และ  $0.160$  ตามลำดับ), ใต้กึ่งกลางหน้าไม้ ( $p = 0.683, 0.682$  และ  $0.520$  ตามลำดับ) หรือข้างกึ่งกลางหน้าไม้ ( $p = 0.900, 0.796$  และ  $0.062$  ตามลำดับ) ก็ตาม

### วิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อดูผลของตัวช่วยแรงทั้ง 3 รูปแบบ (แบบกระดุม แบบยางรัด และแบบตัวหนอน) ในแง่ของการลดแรงกระแทกและการสั่นสะเทือนที่ด้ามจับเวลาตีลูก โดยนับเป็นงานวิจัยชิ้นแรกที่ใช้การเหวี่ยงไม้เข้าตีลูกด้วยความเร็วสูงคล้ายการเสิร์ฟเทนนิสในสถานการณ์จริง มีการควบคุมปัจจัยต่างๆที่อาจส่งผลต่อแรงกระทำที่บริเวณด้ามจับได้โดย ควบคุมชนิดของไม้ ชนิดของเอ็น แรงดึงของเอ็น ความเร็วหน้าไม้ ลักษณะการตี (stroke) จุดกระทบลูกบนหน้าไม้

ชนิดของลูกบอล การทดลองทำในห้องกระจกเพื่อไม่ให้มีแรงลมรบกวน นอกจากนั้นยังออกแบบการทดลองภายใต้สถานการณ์ที่มีแรงบิดหมุนเพิ่มเข้ามา คือการตีที่บริเวณข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ ซึ่งที่ผ่านมายังไม่เคยมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของตัวขับเคลื่อนในการตีที่จุดข้างกึ่งกลางหน้าไม้มาก่อน

**แรงกระแทกสูงสุด (Peak force)**

การตีตัวขับเคลื่อนไม่ได้ส่งผลลดแรงกระแทกสูงสุด (peak force) ที่บริเวณด้ามจับได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อเทียบกับภาวะที่ไม่ได้ตีตัวขับเคลื่อนว่าจะตีที่ตำแหน่งใดก็ตาม โดย peak force สูงที่สุดที่ตำแหน่งข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้ (Off-axis) และต่ำที่สุดที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (below center) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Henning ในปี 1992 ที่พบว่า จุดกระทบลูกแบบไม่ตรงจุดศูนย์กลาง (off-axis) เกิดแรงกระทำที่บริเวณข้อมือมากกว่าจุดกระทบลูกกลางหน้าไม้<sup>19</sup> ซึ่งการที่ตัวขับเคลื่อนไม่สามารถลดแรงกระแทกสูงสุดได้ ผู้วิจัยคิดว่าเป็นเพราะตัวขับเคลื่อนมีมวลที่น้อยมาก (5-20g) เมื่อเทียบกับไม้เทนนิส (300g) จึงทำให้ไม่สามารถดูดซับแรงกระแทกได้มากพอที่จะเห็นความแตกต่างอย่างมีนัยทางสถิติ

**การสั่นสะเทือน (Vibration)**

เมื่อใช้ Fourier transform หาค่าคลื่นความถี่ที่เกิดขึ้นที่ด้ามไม้ พบว่าในการตีลูกที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้นั้น ตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบสามารถลดคลื่นความถี่ที่ 3 ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยตัวขับเคลื่อนรูปแบบกระดุมสามารถลดได้ 19 เฮิร์ตซ์ (จาก  $191.7 \pm 2.6$  เฮิร์ตซ์ เป็น  $172.9 \pm 2.8$  เฮิร์ตซ์) หรือลดไปได้ประมาณร้อยละ 10 ( $p = 0.001$ ), ตัวขับเคลื่อนรูปแบบยางรัดสามารถลดได้ 15 เฮิร์ตซ์ (จาก  $191.7 \pm 2.6$  เฮิร์ตซ์ เป็น  $176.8 \pm 4.4$  เฮิร์ตซ์) หรือลดไปได้ประมาณร้อยละ 8 ( $p = 0.005$ ) และตัวขับเคลื่อนรูปแบบตัวหนอนสามารถลดได้ 13 เฮิร์ตซ์ (จาก  $191.7 \pm 2.6$  เฮิร์ตซ์ เป็น  $178.8 \pm 3.8$  เฮิร์ตซ์) หรือลดไปได้ประมาณ ร้อยละ 7 ( $p = 0.011$ ) ซึ่งยังไม่เคยมีงานวิจัยขึ้นใดพบความแตกต่างของตัวขับเคลื่อนหลายรูปแบบในการลดการสั่นสะเทือนมาก่อน และเมื่อเปรียบเทียบความสามารถในการลดคลื่นความถี่รายคู่ระหว่างตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบ ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ทั้งนี้ผลการทดลองสอดคล้องกับการศึกษาของ Nicholas Timme ในปี 2009 ที่พบว่าตัวขับเคลื่อนสามารถลดการสั่นสะเทือนได้ในไม้เทนนิสที่มีการสั่นสะเทือนของเอ็นหน้าไม้บางรูปแบบ (mode shape)<sup>10</sup> และการศึกษาของ Mariam A. A. Ameer ในปี 2015 ที่พบว่าตัวขับเคลื่อนช่วยลด myoelectric activity ของ wrist extensor muscle เฉพาะในกลุ่มนักเทนนิสประสบการณ์น้อย (1-2 ปี) เท่านั้น<sup>9</sup>

สำหรับการตีลูกที่ตำแหน่งอื่น ไม่ว่าจะเป็นตำแหน่งจุดกึ่งกลางหน้าไม้, เหนือจุดกึ่งกลางหน้าไม้ หรือข้างจุดกึ่งกลางหน้าไม้พบว่าตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบ ไม่ได้ช่วยลดการสั่นสะเทือนได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของตัวยึดด้ามไม้ (clamp) ซึ่งการตีด้วยเครื่องเสิร์ฟลูกเทนนิสอัตโนมัติที่หมุนด้วยความเร็ว 450 รอบ/นาที จำเป็นที่จะต้องยึดด้ามจับไว้ค่อนข้างแน่น (rigid) เพื่อไม่ให้ไม้หลุดขณะเครื่องหมุน ซึ่งในการตีเทนนิสของนักเทนนิส ที่ฝ่ามือจะมีความยืดหยุ่นประมาณหนึ่ง ส่งผลให้การใช้มือกำด้ามไม้เทนนิสนั้นจะอยู่ในภาวะ semi-rigid หรือ semi-clamp เท่านั้น ทำให้บริเวณด้ามยังมีการเคลื่อนไหวได้ระดับหนึ่ง มีผลให้เวลาตีลูก โครงไม้เทนนิสจะเกิดการตอบสนองเชิงกลคนละรูปแบบ (mode shape) กับในภาวะ rigid clamp ที่บริเวณด้ามจับไม่มีการเคลื่อนไหวเลย มีผลให้การสั่นสะเทือนแตกต่างกัน

**สรุป**

การทดลองนี้พบว่าทั้งตัวขับเคลื่อนรูปแบบกระดุม รูปแบบยางรัด และรูปแบบตัวหนอนสามารถช่วยลดการสั่นสะเทือนบางคลื่นความถี่ที่บริเวณด้ามจับได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อตีที่ตำแหน่งใต้จุดกึ่งกลางหน้าไม้ (below center) ส่วนการตีที่ตำแหน่งอื่นพบว่าตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบไม่สามารถลดการสั่นสะเทือนได้

ตัวขับเคลื่อนทั้ง 3 รูปแบบไม่สามารถลดแรงกระทำสูงสุดได้ (peak force) ได้ไม่ว่าจะเป็นกรณีตีที่ตำแหน่งใดๆ ก็ตาม อย่างไรก็ตามตัวขับเคลื่อนก็ยังเป็นอุปกรณ์ที่นักเทนนิสนิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย ไม่ว่าจะเพื่อประโยชน์ด้านการลดเสียงรบกวน การควบคุมทิศทางลูกบอล หรือความรู้สึกสบายขณะตีลูกก็ตาม ดังนั้นความรู้ในเรื่องผลของตัวขับเคลื่อนจึงยังคงเป็นปัจจัยที่ควรศึกษาเพิ่มเติม

## ข้อเสนอแนะทางคลินิก

ผู้วิจัยเห็นว่าการติดตัวจับเรงนั้นสามารถลดการสั่นสะเทือนได้จริงในบางคลื่นความถี่ จึงแนะนำให้ผู้เล่นเทนนิสทั่วไปหรือผู้ที่มีปัญหาบาดเจ็บที่ข้อมือหรือข้อศอกพิจารณาใช้ตัวจับเรงเพื่อช่วยลดการสั่นสะเทือนของด้ามไม้ที่เกิดขึ้นหลังจากลูกเทนนิสกระทบหน้าไม้

ทั้งนี้การทดลองต่อไป ควรศึกษาผลของตัวจับเรงเพิ่มเติมในสถานการณ์ที่แตกต่างกันของตัวแปรต้นอื่นๆ ซึ่งส่งผลต่อแรงกระทำที่หน้าไม้ เช่น ความเร็วหน้าไม้ที่แตกต่างกัน หรือความตึงเอ็นที่แตกต่างกัน เป็นต้น

## Conflict of interest

งานวิจัยนี้ไม่มี conflict of interest ใด และไม่ได้รับผลประโยชน์จากผลิตภัณฑ์ใด

## กิตติกรรมประกาศ

ได้รับการสนับสนุนจาก “กองทุนวิจัยมหาวิทยาลัย นวมินทราชินราช (Navamindhradhiraj University Research Fund)” และ กองทุนจุฬา 90 ปีจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับทุนวิจัย และคณะวิทยาศาสตร์การกีฬาจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เอื้อเพื่อสถานที่และอุปกรณ์การทดลอง

## เอกสารอ้างอิง

- Abrams GD, Renstrom PA, Safran MR. Epidemiology of musculoskeletal injury in the tennis player. *Br J Sports Med* 2012;46:492-8.
- Sell K, Hainline B, Yorio M, Kovacs M. Injury trend analysis from the US Open Tennis Championships between 1994 and 2009. *Br J Sports Med* 2014;48:546-51.
- Dines JS, Bedi A, Williams PN, Dodson CC, Ellenbecker TS, Altchek DW, et al. Tennis injuries: epidemiology, pathophysiology, and treatment. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23:181-9.
- De Smedt T, de Jong A, Van Leemput W, Lieven D, Van Glabbeek F. Lateral epicondylitis in tennis: update on aetiology, biomechanics and treatment. *Br J Sports Med* 2007;41:816-9.
- Martin C, Bideau B, Ropars M, Delamarche P, Kulpa R. Upper limb joint kinetic analysis during tennis serve: Assessment of competitive level on efficiency and injury risks. *Scand J Med Sci Sports* 2014;24:700-7.
- Groppe JL, Nirschl RP. A mechanical and electromyographical analysis of the effects of various joint counterforce braces on the tennis player. *Am J Sports Med* 1986;14:195-200.
- Rompe JD, Decking J, Schoellner C, Theis C. Repetitive low-energy shock wave treatment for chronic lateral epicondylitis in tennis players. *Am J Sports Med* 2004;32:734-43.
- Cross R. Factors affecting the vibration of tennis racquets. *Sports Engineering* 2015;18:135-47.
- Ghada M, El-hafez and Amira A. A. Abdalla Mariam A. A. Ameer SME-h. Effect of String Vibration Damper of Tennis Racket on Myoelectric Activity of Wrist Extensors. *Int J Curr Res* 2015;7:14656-61.
- Timme N, Morrison A. The mode shapes of a tennis racket and the effects of vibration dampers on those mode shapes. *J Acoust Soc Am* 2009;125:3650-6.
- Stroede CL, Noble L, Walker HS. The effect of tennis racket string vibration dampers on racket handle vibrations and discomfort following impacts. *J Sports Sci* 1999;17:379-85.
- Li F, Fewtrell D, Jenkins M. String vibration dampers do not reduce racket frame vibration transfer to the forearm. *J Sports Sci* 2004;22:1041-52.
- Mohr S, Cottey R, Lau D, Gillet C, Kotze J, Jolly M, et al. Dynamics of a String-Bed Damper on Tennis Rackets (P175). *The Engineering of Sport 7: Springer*; 2008. p. 179-89.

14. Duane V. Factors affecting force loading on the hand in the tennis forehand. *J Sports Med Phys Fitness* 1991;31:527-31.
15. Wei S-H, Chiang J-Y, Shiang T-Y, Chang H-Y. Comparison of shock transmission and forearm electromyography between experienced and recreational tennis players during backhand strokes. *Clin J Sport Med* 2006;16:129-35.
16. Naß D, Hennig EM, Schnabel G, editors. Ball impact location on a tennis racket head and its influence on ball speed, arm shock and vibration. *ISBS-Conference Proceedings Archive*; 1998.
17. Li L, Yang SH, Hwang C-S, Kim YS. Effects of string tension and impact location on tennis playing. *J Mech Sci Technol* 2009;23:2990-7.
18. Chow JW, Carlton LG, Lim YT, Chae WS, Shim JH, Kuenster AF, et al. Comparing the pre- and post-impact ball and racquet kinematics of elite tennis players' first and second serves: a preliminary study. *J Sports Sci* 2003;21:529-37.
19. Hennig EM, Rosenbaum D, Milani TL. Transfer of tennis racket vibrations onto the human forearm. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24:1134-40.
20. Mohandhas BR, Makaram N, Drew TS, Wang W, Arnold GP, Abboud RJ. Racquet string tension directly affects force experienced at the elbow: implications for the development of lateral epicondylitis in tennis players. *Shoulder Elbow* 2016;8:184-91.
21. Hatze H. Forces and duration of impact, and grip tightness during the tennis stroke. *Med Sci Sports* 1976;8:88-95.
22. Englel J. Tennis: Dynamics of racket-grip interaction. *J Hand Surg* 1995;20:S77-S81.
23. Porramatikul M, Meeopartmongkon T. Effect of tennis racket damper on the peak force and damping time. *Journal of the Medical Association of Thailand*. 2018;101:S31-S6.
24. Pavilas C, Chaiwatcharaporn C. Comparison in maximum ball velocity of 3-structural characteristic rackets using simulated tennis flat serve. *J Sports Sci* 2014;14.