

การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำ 200 เมตร ท่าฟรอนท์ ครอลในรายค์ส่วนบนของนักกีฬาว่ายน้ำทีมชาติไทย

อัศรยา ศीलสังวรณ¹ สาธิต หงษ์ทอง² โชติวิทย์ ธรรมสุจิตร์³ และชัยพัฒน์ หล่อศิริรัตน์¹

¹คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ²ชมรมกีฬาทางน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
³โรงเรียนสาธิตมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปทุมวัน

Received: 29 May 2561 / Revised: 15 July 2563 / Accepted: 18 March 2564

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของนักกีฬาว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอลในระยะทาง 200 เมตร

วิธีดำเนินการวิจัย กลุ่มตัวอย่างเป็นนักกีฬาว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอลทีมชาติไทย เพศชายที่เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 29 ณ ประเทศมาเลเซีย ปี 2560 จำนวน 7 คน การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ โดยใช้ชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวทั้งบนบกและใต้น้ำรวม 16 ตัวในการเก็บข้อมูลในอุโมงค์น้ำ ที่คณะวิทยาศาสตร์การกีฬา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยให้กลุ่มตัวอย่างทุกคนใส่ชุดว่ายน้ำติดมาร์คเกอร์ แล้วว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอลระยะ 200 เมตร ที่ความเร็ว 75% ของความเร็วสูงสุดที่ว่ายในสระว่ายน้ำ วิเคราะห์ตัวแปรมุมและความเร็วเชิงเส้นของข้อต่อ จากนั้นนำมาเปรียบเทียบความแตกต่างที่ระยะต่าง ๆ 5 ช่วง คือ 15-35 เมตร 65-85 เมตร 115-135 เมตร และ 196-200 เมตร ตามลำดับ

ผลการวิจัย พบว่าค่าเฉลี่ยของมุมหัวไหล่และข้อมือในระยะ 15-35 เมตร มีความแตกต่างจากระยะ

195-200 เมตร และค่าเฉลี่ยความเร็วของหัวไหล่ ข้อศอก และข้อมือ ลดลงในช่วงระยะ 15-35 เมตร กับช่วงระยะ 195-200 เมตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ .05 การจำลองวิถีมุมและความเร็วของข้อต่อด้วยสมการพหุคูณการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion สามารถพยากรณ์ค่าเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ได้ถูกต้องมากกว่าร้อยละ 80 โดยพบว่าเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่ให้ครบรอบเพิ่มขึ้นเมื่อระยะว่ายเปลี่ยนแปลงไป

สรุปผลการวิจัย การว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอลระยะ 200 เมตรส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมุมการเคลื่อนไหวของแต่ละข้อต่อช่วงบนกับเวลา เมื่อระยะทางที่ว่ายเพิ่มขึ้น รูปแบบการเคลื่อนที่ของข้อต่อเหมือนเดิมแต่เวลาในการเคลื่อนที่ของข้อต่อจะแตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์ด้วยสมการพหุคูณแบบ Simple Harmonic Motion พบว่าเมื่อระยะทางเพิ่มขึ้น เวลาการเคลื่อนที่ของข้อต่อในแต่ละสโตรกเพิ่มขึ้น ความเร็วเฉลี่ยของแต่ละข้อต่อลดลง

คำสำคัญ: กีฬาว่ายน้ำ/ท่าฟรอนท์ ครอล/ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์/รายค์ส่วนบน

CHANGES IN BIOMECHANICAL VARIABLE OF 200 METRES FRONT CRAWL ON UPPER EXTREMITIES IN THAI NATIONAL SWIMMERS

Akkaraya Silsungvorn¹, Sathit Hongthong², Chotivit Tumsujit³, and Chaipat Lawsirirat¹

¹Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University ²Swimming Club, Chulalongkorn University

³Patumwan Demonstration School Srinakharinwirot University

Received: 29 May 2561 / Revised: 15 July 2563 / Accepted: 18 March 2564

Abstract

Purpose: To compare the changes in biomechanical variable during 200 metres front crawl on upper extremities in Thai nation swimmers.

Methods: Seven male front crawl Thai nation swimmers who participated in the 29th Sea Game in Malaysia volunteered for this study. Biomechanical variables, including joint angle and joint velocities were measured and analyzed using 16 surface and underwater cameras in the swimming flume at the Faculty of Sports Science, Chulalongkorn University. All subjects wore a swimsuit attached with markers and swam 200 meters front crawl at 75% of their maximum swimming speed in the pool. Data were extracted and analyzed in 5 intervals, 15-35 m., 65-85 m., 115-135 m., 165-185 m., and 196-200 m, respectively.

Results: The results showed that the average angles of shoulder and wrist during 15-35 m. interval was statistically different from during 196-200 m., interval and the average

velocities of shoulder, elbow, and wrist significantly decreased from 15-35 m. to 196-200 m. intervals ($p < .05$). The trajectories of joint angles and velocities were modelled using Simple Harmonic Modelling, which accurately explained approximately 80% of the trajectory of joint angles and velocities (~80%). Analysis of Simple Harmonic Equation showed that different distances resulted in different cycle time of joint angles and velocities.

Conclusion: Swimming distances affected the angles and velocities of upper extremity joints. The trajectory of angles and velocities of upper extremity joints were similar among distance intervals; however, the movement time of joints increased as the swimming distance increased. The Analysis of Simple Harmonic revealed that as the swim distance increases the movement time in each stroke increases while the joint velocity decreases.

Key words: Swimming / Front crawl / Biomechanical variable / Upper limb

ความเป็นมาและความสำคัญ

กีฬาว่ายน้ำเป็นกีฬาที่ต้องการความเร็ว ซึ่งความเร็วในการว่ายน้ำขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย ได้แก่ 1) ความสามารถในการผลิตกำลังเชิงกลที่ทำให้เกิดแรงขับเคลื่อนสูง 2) ความสามารถในการลดแรงต้าน 3) การรักษา กำลังให้สูญเสียน้อยที่สุดในการผลักดันน้ำ (Toussaint and Truijens, 2005) ดังนั้นความสามารถที่จะว่ายน้ำ ให้ได้ความเร็วสูงสุดขึ้นอยู่กับ การสร้างเทคนิค ท่าทางการว่ายน้ำ หรือสโตรกแขนบริเวณใต้น้ำให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยกลไกการสร้างกำลังหรือแรงผลักดันจะถูกสร้างขึ้นจากตัวนักกีฬาเอง (Deschodt and Arzac, 2004) ในการว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอล (Front crawl) หรือท่าฟรีสไตล์ (freestyle) แรงในช่วงการขับเคลื่อน (Propulsive phase) จะเป็นตัวเอาชนะความต้านทานน้ำ แล้วทำให้เกิดความเร็ว ซึ่งความเร็วดังกล่าวถูกสร้างขึ้นจากการเคลื่อนไหวของสโตรกแขนเป็นหลัก (Figueiredo, Pendergast, Vilas-Boas, and Fernandes, 2013) โดยความเร็วในการว่ายน้ำท่า ฟรอนท์ ครอล (Front crawl) มาจากสโตรก แขน 85% (Deschodt, Arzac and Rouard, 1999) โดยวงจรของสโตรกแขนในท่า ฟรอนท์ ครอล (Front crawl) ส่วนใหญ่เกิดขึ้นใต้น้ำ คิดเป็น 51% ของเวลาในการหมุนแขนทั้งหมด โดยแบ่งเป็น จังหวะการผลัก 21% และจังหวะการดึง 30% (Callaway, 2015) แต่อย่างไรก็ตามกลไกที่เกิดขึ้น ในช่วงการขับเคลื่อน (Propulsive phase) ในการว่ายน้ำ ยังไม่เป็นที่เข้าใจอย่างชัดเจน (Sanders, 1999; Toussaint, Carol, Kranenborg, and Truijens, 2006) ทั้งนี้งานวิจัยที่ศึกษาลักษณะการเคลื่อนไหวของ ข้อต่อในแต่ละช่วงของสโตรกแขนซึ่งเป็นลักษณะในการกำเนิดแรงและความเร็วยังมีอยู่น้อย ส่วนมากจะ มีการศึกษาในเรื่องความสัมพันธ์ทางจลศาสตร์ของ มือกับแรงในการขับเคลื่อน ซึ่งสังเกตได้จากรูปแบบที่ แตกต่างกันของการคำนวณแรงมือ (Berger, 1999;

Gourgoulis et al., 2010; Sanders, 1999; Toussaint, Van den Berg, and Beek, 2002) ซึ่งให้ เห็นว่า ความเร็วในการว่ายน้ำสามารถอธิบายได้จากลักษณะ ของข้อมือ และท่าทางการกวาดน้ำของแขน ความเร็ว ของมือยังเป็นปัจจัยหลักที่สามารถใช้คาดการณ์ความ เร็วในการว่ายน้ำได้ กล่าวคือการลดลงของความเร็ว มือส่งผลต่อการลดลงของความเร็วในนักกีฬาว่ายน้ำ ด้วย (Toussaint and Truijens, 2005)

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดให้กลุ่มตัวอย่าง ว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอล (Front crawl) ที่ระยะทาง 200 เมตร ในระยะนี้มีการใช้ระบบพลังงานแบบไม่ใช้ออกซิเจน 45% และใช้ระบบพลังงานแบบใช้ออกซิเจน 55% (Kachaunov, 2018) เมื่อมีการทดสอบความ เข้มข้นของแลคเตทในเลือดของนักกีฬาระยะว่ายน้ำ 200 เมตรพบว่าเกิดความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดสูง (Kachaunov, 2018; Vescovi, Falenchuk, & Wells, 2011) ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดความเมื่อยล้า (Allen, Lamb and Westerblad, 2008) นอกจากนี้ ยังเป็นระยะที่นิยมใช้ทำการทดสอบระบบพลังงานของ นักกีฬาว่ายน้ำอย่างแพร่หลาย (Barbosa et al., 2006; Pyne, Lee and Swanwick, 2001) โดยตัวแปรที่ แสดงให้เห็นถึงความเมื่อยล้าคือการลดลงของค่าแรง ไอโซเมตริก (Isometric force) ที่วัดก่อน และหลัง การว่ายน้ำ 200 เมตรในท่า ฟรอนท์ ครอล (Front crawl) (Aujouannet, Bonifazi, Hintzy, Vuillerme and Rouard, 2006) และการลดลงของความเร็วของ มือและประสิทธิภาพในการขับเคลื่อนของจังหวะแขน (Arm-stroke) ในการว่ายน้ำ 200 เมตรในท่าฟรอนท์ ครอล (Front crawl) (Figueiredo et al., 2011) รวมถึงการเปลี่ยนแปลงในความยาวของสโตรก (Stroke length; SL) และความถี่ของสโตรก (Stroke rate; SR) ระหว่างการว่ายน้ำ 200 เมตรในท่าฟรอนท์ ครอล (Front crawl) (Alberty, Sidney, Huot-Marchand,

Hespeel and Pelayo, 2005; Craig, Skehan, Pawelczyk and Boomer, 1985; Psycharakis and Sanders, 2008) กล่าวคือเมื่อความเข้มข้นของแลคเตทในเลือดสูง ความเร็วในการว่ายน้ำและความยาวของสโตรก (SL) จะลดลง ส่วนความถี่ของสโตรก (SR) จะเพิ่มสูงขึ้น และความสัมพันธ์ของระยะเวลาในช่วงที่แขนอยู่เหนือน้ำ (Recovery phase) ในหนึ่งสโตรกจะลดลงในช่วงสุดท้ายของการว่ายน้ำ 200 เมตรท่าฟรอนท์ครอล (Front crawl) ดังนั้นความถี่ (SR) และความยาวของสโตรก (SL) จึงเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อความเร็ว ซึ่งในระหว่างการออกกำลังกายจนกระทั่งเกิดความล้าจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของสโตรกที่แตกต่างไปจากในช่วงการว่ายน้ำมาตรฐาน (Chollet, Delaplace, Pelayo, Tourny and Sidney, 1997)

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาการเคลื่อนไหวของร่างกายคนในกีฬาว่ายน้ำ เพื่อให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในแต่ละช่วงของสโตรกเมื่อระยะทางในการว่ายน้ำเพิ่มขึ้น ผลของการศึกษาวิจัยครั้งนี้สามารถช่วยในการสังเกตการเกิดความเมื่อยล้าในนักว่ายน้ำ เพื่อช่วยในการจัดระยะพักให้เหมาะสมเป็นการป้องกันการเกิดการบาดเจ็บจากความหนักในการฝึก และสามารถนำไปพัฒนาแผนการฝึกให้เหมาะสมในนักกีฬาแต่ละบุคคล ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนานักกีฬาว่ายน้ำของประเทศไทยในเชิงลึก และสามารถนำไปต่อยอดองค์ความรู้ในการวิจัยที่เกี่ยวกับการว่ายน้ำต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของนักกีฬาว่ายน้ำท่าฟรอนท์ครอลในช่วงระยะทางต่าง ๆ ในระยะ 200 เมตร

สมมติฐานการวิจัย

ตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของร่างกายคนในขณะว่ายน้ำท่าฟรอนท์ครอล (Front crawl) ของนักกีฬาว่ายน้ำมีการเปลี่ยนแปลงไปเมื่อระยะว่ายน้ำเพิ่มขึ้น

วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

นักกีฬาว่ายน้ำท่าฟรอนท์ครอลทีมชาติไทยเพศชายที่เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 29 ณ ประเทศมาเลเซีย ปี 2560 จำนวน 7 คน

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัย

1. เป็นนักกีฬาว่ายน้ำทีมชาติไทยท่าฟรอนท์ครอลเพศชายที่ได้เข้าร่วมการแข่งขันกีฬาซีเกมส์ครั้งที่ 29 ณ ประเทศมาเลเซีย ปี 2560 โดยการประกาศจากสมาคมว่ายน้ำแห่งประเทศไทย
2. เต็มใจเข้าร่วมการวิจัย
3. ไม่มีอาการบาดเจ็บใด ๆ ในขณะเก็บข้อมูล

เกณฑ์การคัดเลือกผู้เข้าร่วมวิจัยออกจากการวิจัย

1. ผู้ร่วมวิจัยขอถอนตัวจากการศึกษาวิจัย
2. ผู้ร่วมวิจัยเกิดการบาดเจ็บจนเป็นอุปสรรคต่อการวิจัย ได้แก่ นักว่ายน้ำมีอาการเจ็บบริเวณหัวไหล่หรือ เกิดอุบัติเหตุในช่วงการเก็บข้อมูลทำให้ไม่สามารถว่ายน้ำได้ เช่น กระตุกแขนหัก เป็นต้น

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การเก็บข้อมูลแบ่งออกเป็น 2 ส่วน โดยส่วนที่ 1 เป็นการเก็บข้อมูลที่สระว่ายน้ำเพื่อหาความเร็วในการว่ายน้ำซึ่งใช้เป็นข้อมูลความเร็วในการกำหนดความเร็วในอุโมงค์น้ำ และส่วนที่ 2 เป็นการเก็บข้อมูลในอุโมงค์น้ำเพื่อใช้ทำการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัย

1. ให้ผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยว่ายน้ำด้วยความเร็วสูงสุดที่สามารถทำได้ในระยะทาง 200 เมตร โดยออกตัวจากขอบสระไม่ใช้การกระโดด ซึ่งมีผู้จับเวลาอยู่ประจำจุด 15 เมตรแรกจากจุดออกตัวที่ขอบสระและ 15 เมตรก่อนถึงจุดกลับตัวที่ขอบสระทั้งหมด 2 จุด จุดละ 3 คน โดยใช้นาฬิกาจับเวลาจับเวลาเมื่อผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยว่ายน้ำผ่านจุดที่ผู้จับเวลารับผิดชอบจนผู้มีส่วนร่วมในการวิจัยว่ายน้ำครบระยะ 200 เมตร หลังจากนั้นนำเวลาที่ได้จากการจับเวลามาหาเวลาช่วง 20 เมตรบริเวณกลางสระว่ายน้ำ โดยนำเวลาที่จุดระยะว่ายน้ำ 35 เมตรลบกับ 15 เมตรเป็น T1 ระยะที่ 85 เมตรลบกับ 65 เมตรเป็น T2 ระยะที่ 135 เมตรลบกับ 115 เมตรเป็น T3 ระยะที่ 185 เมตรลบกับ 165 เมตรเป็น T4 โดยผู้วิจัยจะจับเวลาเมื่อหัวของนักกีฬาว่ายน้ำผ่านจุดจับเวลา จากนั้นผู้วิจัยจะคำนวณหาความเร็วด้วยสูตร $Velocity (V) = Distance (S) / time (t)$ แล้วจึงนำ V1, V2, V3 และ V4 มาหาค่าเฉลี่ยจะได้ความเร็วเฉลี่ยไปใช้ในการกำหนดความเร็วในอุโมงค์น้ำ

2. เก็บข้อมูลที่อุโมงค์น้ำ ผู้วิจัยทำการติดมาร์คเกอร์ทั้งหมด 7 จุด ได้แก่ Suprasternal notch, Spinous process of 7th cervical vertebra, Spinous process of 8th thoracic vertebra, Lateral epicondyles of the humerus, Radial styloid process และ 3rd metacarpals (Ceccon et al., 2013; Wu et al., 2005) ทั้งนี้จะติดมาร์คเกอร์ในแขนขวาเพียงข้างเดียว โดยทำการติดมาร์คเกอร์กับชุดว่ายน้ำแบบเต็มตัว (เหมือนกับชุดของนักประดาน้ำ) โดยเย็บมาร์คเกอร์ให้ติดกับชุดตามจุดสำคัญทางกายวิภาคให้เหมาะสมกับการเคลื่อนไหวแบบสามมิติ เพื่อป้องกันไม่ให้หลุดขณะว่ายน้ำ แล้วให้นักกีฬาลงไปว่ายน้ำในอุโมงค์น้ำในความเร็วที่ 75% ของความเร็วเฉลี่ยที่สระ ทำการบันทึกข้อมูลด้วยชุดกล้องวิเคราะห์การเคลื่อนไหวบน

บก 9 ตัวและในน้ำ 7 ตัวในความเร็ว 120 เอิร์ต แล้วนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและวิเคราะห์ต่อไปโดยแบ่งเป็น 5 ช่วง 1) ช่วง 15-35 เมตร 2) ช่วง 65-85 เมตร 3) ช่วง 115-135 เมตร 4) ช่วง 165-185 เมตร 5) ช่วง 196-200 เมตร

การวิเคราะห์ข้อมูล

โดยกำหนดตัวแปรของมุมจากมาร์คเกอร์ 3 จุด ดังนี้

1. **มุมหัวไหล่** เกิดจาก Spinous process of 7th cervical vertebra, Acromion process และ Lateral epicondyles of the humerus

2. **มุมข้อศอก** เกิดจาก Acromion process, Lateral epicondyles of the humerus และ Ulnar styloid process

3. **มุมข้อมือ** เกิดจาก Lateral epicondyles of the humerus, Ulnar styloid process และ 3rd metacarpals

1. ทดสอบความแตกต่างระหว่างมุมการเคลื่อนไหวของแต่ละข้อต่อ ณ ระยะการว่ายน้ำที่แตกต่างกันโดยใช้วิธีทดสอบทางสถิติแบบความแปรปรวนทางเดียว (One-way repeated measure ANOVA with post-hoc Bonferroni) ในทุกการวิเคราะห์ทางสถิติผู้วิจัยใช้ระดับความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 และ 0.05

2. การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใน 1 ช่วงการดึงแขน ณ ระยะการว่ายน้ำที่แตกต่างกัน จากสมการพยากรณ์ด้วยสมการการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion ชนิด Damped Spring

ผลการวิจัย

การทดสอบความแตกต่างระหว่างมุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ณ ระยะการว่ายน้ำที่แตกต่างกัน

1. การวิเคราะห์มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละข้อต่อ ณ ระยะว่ายต่างๆ ด้วยวิธี One-way ANOVA พบว่าระยะทางการว่ายน้ำที่แตกต่างกันจะทำให้มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อแต่ละข้อต่อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

1.1 เมื่อวิเคราะห์ Post-hoc Analysis ด้วยวิธี LSD มุมการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ที่ระยะว่าย 15-35 เมตร แตกต่างกับมุมการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ที่ระยะว่าย 165-185 เมตร และ 196-200 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

1.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ Post Hoc Analysis ด้วยวิธี LSD พบว่ามุมการเคลื่อนไหวของข้อศอกที่ระยะ 65-85 เมตร แตกต่างกับมุมการเคลื่อนไหวของข้อศอกที่ระยะ 15-35 เมตร และระยะ 115-135 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

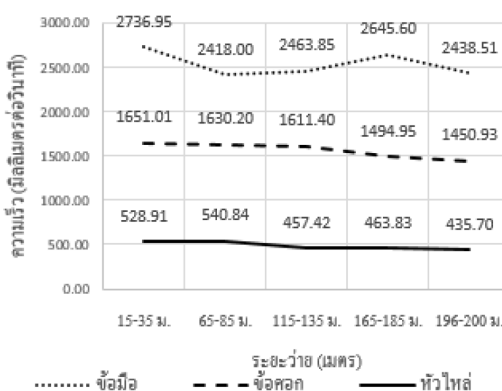
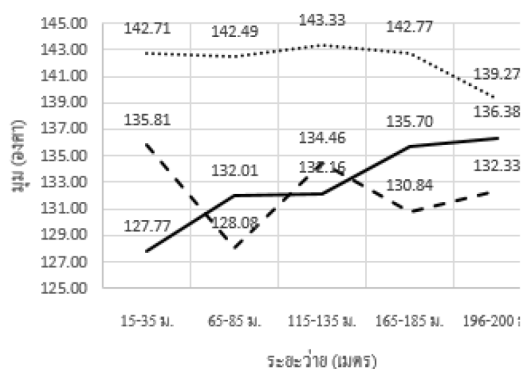
1.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ Post Hoc Analysis ด้วยวิธี LSD พบว่ามุมการเคลื่อนไหวของข้อมือที่ระยะ 196-200 ม. แตกต่างกับมุมการเคลื่อนไหวของข้อมือที่ระยะ 15-35 เมตร ระยะ 65-85 เมตร ระยะ 115-135 เมตร และระยะ 165-185 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อและระยะทางดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าข้อมือมีมุมการเคลื่อนไหวที่มากที่สุด โดยค่าเฉลี่ยของมุมของข้อมือจะลดลงเมื่อระยะว่ายสูงขึ้น แต่ค่าเฉลี่ยของมุมของหัวไหล่จะแปรผันตรงกับระยะว่าย โดยมุมของหัวไหล่จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะว่ายเพิ่มขึ้น ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยของมุมของข้อศอกมีมุมการเคลื่อนไหวที่ไม่แน่นอน

การทดสอบความแตกต่างระหว่างความเร็วของข้อต่อ ณ ระยะการว่ายที่แตกต่างกัน

2. การวิเคราะห์ความเร็วของข้อต่อแต่ละข้อต่อ ณ ระยะว่ายต่างๆ ด้วยวิธี One-way ANOVA พบว่าระยะทางการว่ายน้ำที่แตกต่างกันจะทำให้ความเร็วของข้อต่อแต่ละข้อต่อแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

2.1 เมื่อวิเคราะห์ Post-hoc Analysis ด้วยวิธี LSD ความเร็วเฉลี่ยของหัวไหล่ที่ระยะว่าย 15-35 เมตร แตกต่างกับความเร็วเฉลี่ยที่ระยะว่าย 115-135 เมตร และ 196-200 เมตร ขณะที่ความเร็วเฉลี่ยของหัวไหล่ที่ระยะว่าย 65-85 เมตร แตกต่างกับความเร็วเฉลี่ยที่ระยะว่าย 115-135 เมตร ระยะ 165-185 เมตร และระยะ 196-200 เมตร



รูปที่ 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของมุมและความเร็วของแต่ละข้อต่อ ที่ระยะว่ายต่างๆ ของการว่าย 200 เมตร ท่าฟรอนท์ครอล

2.2 เมื่อทำการวิเคราะห์ Post-hoc Analysis ด้วยวิธี LSD พบว่าความเร็วเฉลี่ยของข้อศอกที่ระยะ 196-200 เมตร แตกต่างกับความเร็วเฉลี่ยของข้อศอกที่ระยะ 15-35 เมตร ระยะ 65-85 เมตร และระยะ 115-135 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

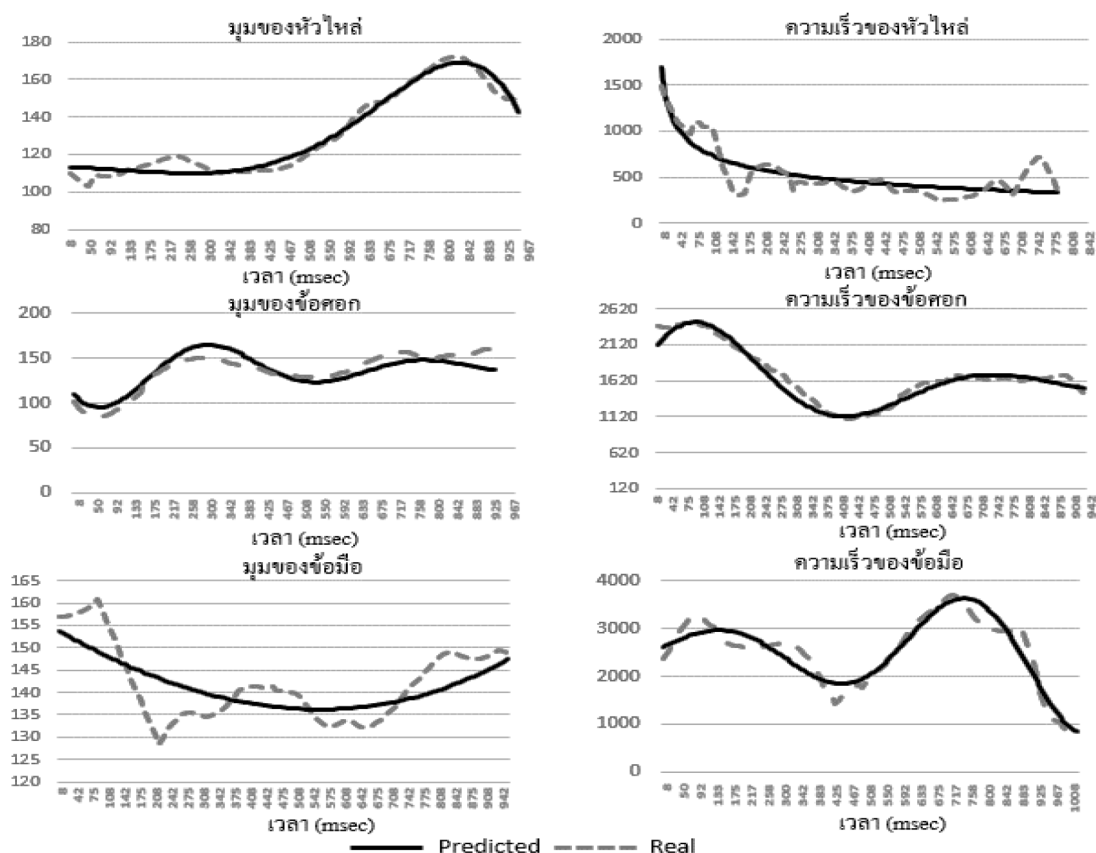
2.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ Post-hoc Analysis ด้วยวิธี LSD พบว่าความเร็วเฉลี่ยของข้อมือที่ระยะ 15-35 เมตร แตกต่างกับความเร็วเฉลี่ยของข้อมือที่ระยะ 65-85 เมตร ระยะ 115-135 เมตร และระยะ 196-200 เมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

เมื่อพิจารณาปฏิสัมพันธ์ระหว่างข้อต่อและระยะทางดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นว่าความเร็วเฉลี่ยข้อมือมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือความเร็วเฉลี่ยของ

ข้อศอก และความเร็วเฉลี่ยของหัวไหล่มีค่าน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบอีกว่าความเร็วของการว่ายน้ำในช่วงเริ่มต้นคือระยะ 15-35 ม. มีค่าสูงกว่าความเร็วของข้อต่อต่างๆ ในระยะเพิ่มขึ้น

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวของมุมการเคลื่อนที่ ณ ระยะการว่ายน้ำที่แตกต่างกัน

3. เพื่อให้การวิเคราะห์เป็นไปอย่างสมบูรณ์ผู้วิจัยได้สร้างสมการพยากรณ์มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อ ณ ระยะการว่ายน้ำต่างๆ แบบ Simple Harmonic Motion รูปแบบ Damped Spring ซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการอธิบายการเคลื่อนที่ได้ดังนี้ $x(t) = Ae^{-bt} \cos(2\pi t + \theta)$ เมื่อ $x(t)$ คือมุมการเคลื่อนไหวของหัวไหล่ A คือค่าคงที่ใด ๆ ทั้งนี้ในการเคลื่อนที่แบบ Simple



รูปที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบโมเดลมุมและความเร็วกับค่าเฉลี่ยของมุมและความเร็วของแต่ละข้อต่อ

Harmonic Motion หมายถึงแอมพลิจูด หรือหมายถึง ระยะการกระจัดสูงสุดของคลื่น b คือค่าคงที่ใด ๆ เป็น ค่า discounted factor ของ Damped Spring t คือลำดับเฟรมหรือเวลา และ θ คือเฟสหรือมุมการ เคลื่อนที่เริ่มต้นจากกราฟ cosine และสมการ พยากรณ์ความเร็วของข้อต่อ ณ ระยะการว่ายต่าง ๆ จากสมการ $v(t)=Ae^{-bt}\cos(2\pi t+\theta)$ สำหรับข้อศอก และข้อมือ และสมการ $v(t)=at^b+c$ สำหรับหัวไหล่ b เมื่อ a b และ c คือค่าคงที่ใด ๆ โดย y ในสมการ หมายถึงความเร็วของหัวไหล่ และ x หมายถึงลำดับ เฟรม

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ของ มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ ณ ระยะต่าง ๆ มี ค่าแตกต่างกัน แต่จากเซลล์ Rsq ซึ่งเป็นการคำนวณ เพื่อหาความผิดพลาดจากสมการพยากรณ์จะเห็นว่า สมการพยากรณ์สามารถทำนายมุมการเคลื่อนไหวของ หัวไหล่และข้อศอกได้ถูกต้องมากกว่า 85% ในขณะที่ สามารถพยากรณ์มุมการเคลื่อนไหวของข้อมือได้แม่นยำ ถึง 60% หากพิจารณาจากรูปที่ 2 จะเห็นได้อย่าง ชัดเจนว่าลักษณะการเคลื่อนไหวของมุมของหัวไหล่จะ เป็นลักษณะคล้ายลูกคลื่น ในขณะที่ลักษณะการ เคลื่อนไหวของมุมของข้อศอกและข้อมือจะมีลักษณะ

ตารางที่ 1 แสดงพารามิเตอร์ของการประมาณค่ามุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อในระยะทางต่าง

ข้อต่อ/ระยะ		15-35 ม.	65-85 ม.	115-135 ม.	165-185 ม.	196-200 ม.	Mean
หัวไหล่	b=	-0.02235801	-0.01154176	-0.03811643	-0.00469730	-0.00469730	-0.025350
	T=	140.795	127.216	126.567	103.831	103.831	137.408
	theta =	0.340	0.850	0.791	1.158	1.158	0.432
	A=	-7.325	-16.199	-2.020	-20.997	-20.997	-5.757
	const =	112.723	122.461	114.837	133.194	133.194	115.180
	error	1471.273	2211.257	1817.419	746.946	1409.324	1259.506
	Rsq=	0.972	0.964	0.966	0.979	0.958	0.975
ข้อศอก	b=	0.052132182	0.058408656	0.02255213	0.03978401	0.024128725	0.079811
	T=	58.200	881.713	64.545	67.088	60.625	107.916
	theta =	1.324	1.552	1.415	1.326	1.101	1.479
	A=	-100.760	-1094.118	-57.830	-74.348	-50.596	-181.663
	const =	142.316	149.821	138.788	136.559	136.341	141.880
	error	8493.262	8878.412	4838.416	4593.639	3894.146	5951.838
	Rsq=	0.838	0.838	0.879	0.873	0.879	0.850
ข้อมือ	b=	-0.0096404	-0.0065384	-0.0026298	-0.003103	-0.0031277	0.0193669
	T=	2056.091	2388.527	4746.753	5279.777	4626.161	907.681
	theta =	-1.098	-1.033	-1.031	-1.138	-1.095	1.491
	A=	-287.888	-983.821	-2976.302	-2732.028	-2852.496	-292.545
	const =	283.422	674.521	1685.910	1300.296	1455.705	181.028
	error	2279.503	2300.607	3093.840	3131.076	4121.970	3891.406
	Rsq=	0.612	0.834	0.630	0.625	0.579	0.606

ตารางที่ 2 แสดงพารามิเตอร์ของสมการพยากรณ์ความเร็วของข้อต่อ ณ เวลาต่าง ๆ

ข้อต่อ/ระยะ		15-35 ม.	65-85 ม.	115-135 ม.	165-185 ม.	196-200 ม.	Mean
หัวไหล่	a=	1940.99981	1669.61073	1199.39084	9735.85917	86060.3937	-82247.1750
	b=	-236.420	130.238	83.378	-8525.736	-84874.260	83530.650
	c=	-0.268	-0.406	-0.380	-0.022	-0.002	0.003
	error	2016376.4	2394645.991	1116360.5	890838.162	1714312.8	1012113.0
	Rsqr=	0.723	0.669	0.681	0.795	0.689	0.807
ข้อศอก	b=	0.0129838	-0.00011441	0.014486408	0.017401507	0.0145638	0.024520733
	T=	63.543	63.741	66.040	74.768	63.151	66.569
	theta=	10.512	10.517	10.916	10.271	10.483	10.545
	A=	-1015.988	-489.365	-1173.933	-1049.276	-1047.457	-1175.633
	const=	1593.332	1625.176	1511.291	1388.990	1443.151	1527.488
	error	7148982.715	9866936.123	4256884.908	4544661.658	4305119.11	1469212.550
	Rsqr=	0.738	0.598	0.837	0.792	0.817	0.908
ข้อมือ	b=	-0.0200248	-0.01442367	-0.0128229	-0.0233384	-0.02300117	-0.0180549
	T=	72.701	69.021	72.443	72.702	73.615	71.113
	theta=	10.115	10.324	10.839	10.007	9.627	10.267
	A=	-210.906	-313.030	-347.582	-141.666	-152.259	-213.518
	const=	2774.283	2533.762	2528.888	2671.317	2577.383	2619.558
	error	5079944.637	6370037.599	6562341.897	5494376.508	4804481.428	2268103.751
	Rsqr=	0.861	0.896	0.898	0.873	0.924	0.967

เป็นพาราโบลามากกว่า ซึ่งจากพารามิเตอร์ที่ใช้ในการประมาณค่าสะท้อนได้จาก คาบ (T) ที่เพิ่มขึ้น

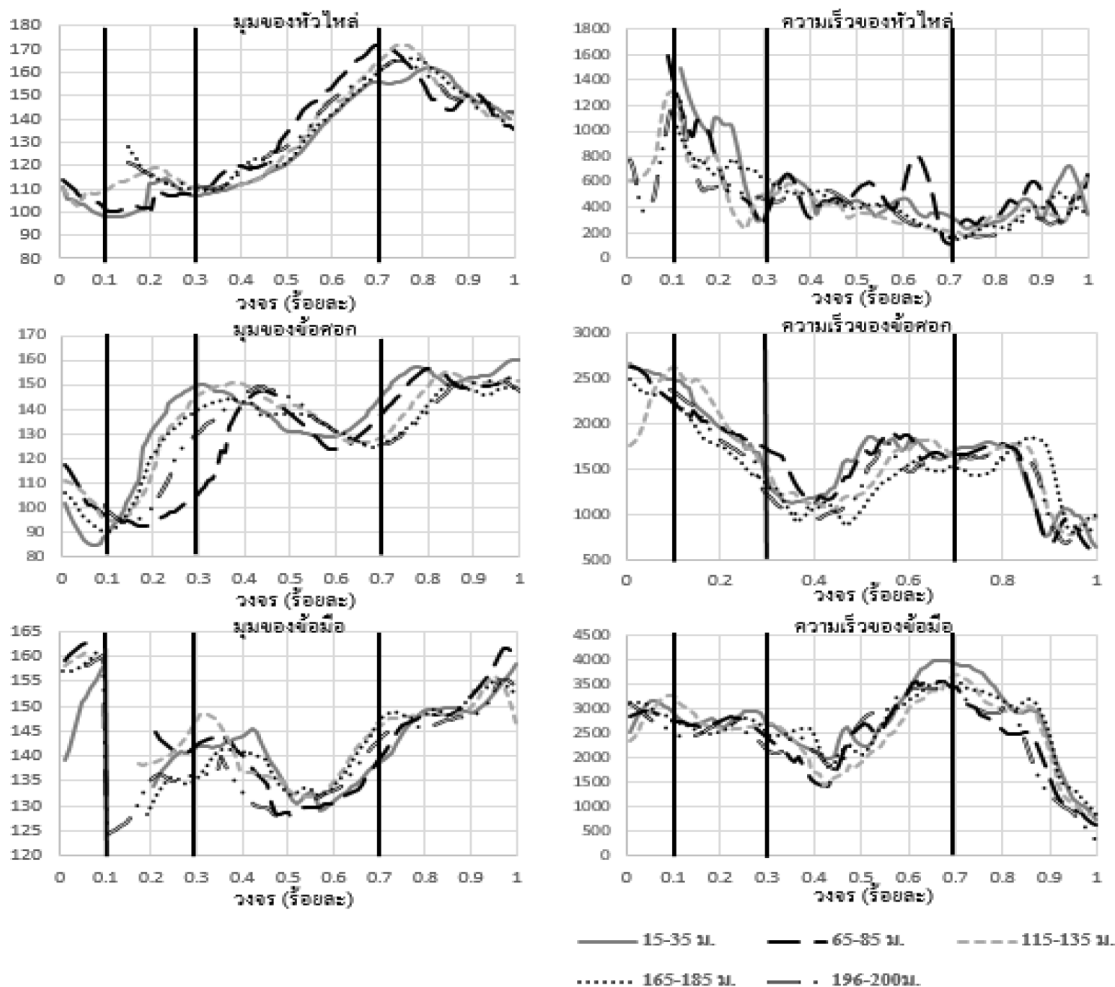
จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าพารามิเตอร์ของสมการพยากรณ์ความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ ณ ระยะต่าง ๆ มีค่าแตกต่างกัน แต่จากเซลล์ Rsqr ซึ่งเป็นการคำนวณเพื่อหาความผิดพลาดจากสมการพยากรณ์ จะเห็นว่าสมการพยากรณ์สามารถทำนายความเร็วเฉลี่ยของหัวไหล่ ข้อศอกและข้อมือได้ถูกต้องมากกว่า 80% หากพิจารณาจากสมการการเคลื่อนที่ของข้อศอก $v(t)=at^c+b$ จะเห็นว่าค่าคงที่ c เป็นค่าติดลบ แสดงให้เห็นว่าความเร็วของข้อศอกจะตกลงเรื่อย ๆ จนถึงจุดๆ หนึ่งจะมีความเร็วค่อนข้างคงที่ ในขณะที่สมการพยากรณ์ความเร็วของข้อศอกและข้อมือนั้น ผู้วิจัย

สนใจคาบ (T) ซึ่งแสดงว่าความเร็วของข้อศอกและข้อมือในการเคลื่อนที่ 1 วงรอบมีค่าเท่าใด จากตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าหนึ่งคาบของข้อศอกมีค่าประมาณ 0.66 วินาที และสำหรับข้อมือนี้อาจมีค่าประมาณ 0.71 วินาที

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวใน 1 ช่วงการดึงแขน ณ ระยะการว่ายที่แตกต่างกัน

การวิเคราะห์การเคลื่อนไหวเป็นการวิเคราะห์ถึงท่าทางในการเคลื่อนที่ของนักกีฬาทำให้นักกีฬาและผู้ฝึกสอนทราบว่าในแต่ละช่วงนักกีฬามีการเคลื่อนไหวท่าทางเป็นอย่างไร

8. การวิเคราะห์วงรอบของการดึงแขน 1 สโตรก



รูปที่ 3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมและความเร็วของแต่ละข้อต่อกับวงจรการดึงแขน 1 วินาที

จากรูปที่ 3 จากการศึกษาวงจรการดึงแขนซึ่งทางงานวิจัยไม่สามารถวิเคราะห์ผลในช่วงแรกที่มีมือเริ่มงอเพื่อทำการจับน้ำได้หรือที่เรียกว่าช่วง catch ได้เนื่องจากฟองอากาศในน้ำมีปริมาณมากทำให้กลองความเร็วสูงไม่สามารถจับภาพมาร์คเกอร์ได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยจึงทำวงจร 1 วินาที โดยเริ่มตั้งแต่ช่วง Pull ซึ่งมีหน้าที่หลักในการดึงน้ำพบว่ากลุ่มตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 10% โดยในช่วงแรกนี้หัวไหล่จะทำมุมค่อนข้างคงที่ ในขณะที่ความเร็วของหัวไหล่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากตัวมีการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าตามความเฉื่อย

ของการลื่นสุดสโตรก มุมของข้อศอกจะลดลง ในขณะที่ความเร็วของข้อศอกก็ลดลง ส่วนข้อมือจะเห็นได้ชัด เนื่องจากช่วงนี้เป็นจังหวะใช้ข้อมือจับน้ำจึงเห็นมุมของข้อมือลดลงอย่างชัดเจน ในช่วงที่ 2 คือช่วง push มีหน้าที่หลักในการผลักดันน้ำจะอยู่ที่ประมาณ 20% ในช่วงดังกล่าวมุมหัวไหล่จะลดลง มุมของข้อศอกและข้อมือจะเริ่มเหยียดออกเพิ่มขึ้น ในขณะเดียวกับที่ความเร็วของข้อศอกจะตกลงไปจนถึงจุดต่ำสุดเพื่อเข้าสู่จังหวะที่ 3 คือ exit เป็นช่วงที่หัวไหล่จะเคลื่อนที่ท่ามุมเพิ่มอย่างต่อเนื่อง ใช้เวลาประมาณ

40% เนื่องจากจังหวะดังกล่าวจะเป็นจังหวะที่นักกีฬาว่ายน้ำเริ่มจะยกแขนพ่นน้ำจนกระทั่งลากไปถึงกลางลำตัว มุมของข้อศอกจะค่อย ๆ ลดลง และมุมของข้อมือลดลงต่ำสุด ส่วนความเร็วของข้อศอกจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อเตรียมให้กลับเข้าสู่ช่วงสุดท้ายคือ recovery เป็นจังหวะที่มุมของหัวไหล่จะเริ่มลดลงอีกครั้ง และมีการเหยียดข้อศอกออกในช่วงสุดท้ายเพื่อเข้าสู่เฟสแรกต่อไป ซึ่งในจังหวะดังกล่าวความเร็วของหัวไหล่จะเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะมีแรงส่งนักกีฬาไปข้างหน้า ทำให้ความเร็วของหัวไหล่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้ความเร็วเชิงเส้นของหัวไหล่จะมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วเชิงเส้นของนักกีฬาว่ายน้ำ

อภิปรายผลวิจัย

งานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในการว่ายน้ำ 200 เมตรท่าฟรอนท์ ครอล ทำการวิเคราะห์ผลของการเปลี่ยนแปลงมุมและความเร็วของข้อต่อ ณ ระยะว่ายต่าง ๆ ในอุโมงค์น้ำ เนื่องจากเทคนิคในการว่ายน้ำสามารถวัดผ่านตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ ในงานวิจัยเรื่องนี้ผู้วิจัยสนใจตัวแปรทางชีวกลศาสตร์หลัก 2 ตัวได้แก่มุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อต่าง ๆ และความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ ในท่าฟรอนท์ ครอลที่ระยะต่างกัน 4 ระยะได้แก่ระยะ 15-35 เมตร, 65-85 เมตร, 115-135 เมตร, 165-185 เมตร และ 196-200 เมตร ตามลำดับ

ผลการวิจัยพบว่าระยะทางที่เพิ่มขึ้นส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมุมการเคลื่อนไหวของข้อต่อและความเร็วของข้อต่อ มุมเฉลี่ยของข้อมือที่ระยะว่าย 196-200 เมตรจะแตกต่างจากมุมเฉลี่ยของข้อมือที่ระยะว่ายอื่น ๆ โดยมุมเฉลี่ยของข้อมือที่ระยะว่าย 196-200 เมตรจะมีค่าน้อยกว่ามุมเฉลี่ยของหัวไหล่ ณ ระยะว่ายอื่น ๆ ในขณะที่มุมเฉลี่ยของหัวไหล่จะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อระยะว่ายเพิ่มขึ้นแต่มุมเฉลี่ยของข้อศอก

จะมีค่ามากที่ระยะ 15-35 เมตรและระยะ 115-135 เมตร ผลการวิจัยครั้งนี้จึงสอดคล้องกับงานวิจัยของ Laffite et al. (2004) ที่พบว่าความล้าเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้ท่าทางหรือตัวแปรทางชีวกลศาสตร์เปลี่ยนแปลงไป (Alberty et al., 2008; Laffite et al., 2004; Toussaint, 1990; Toussaint et al., 2006)

สำหรับความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ พบว่าความเร็วเฉลี่ยของข้อไหล่ ข้อศอกและข้อมือ จะแปรผกผันกับระยะว่าย กล่าวคือเมื่อระยะว่ายเพิ่มมากขึ้นความเร็วเฉลี่ยของข้อไหล่ ข้อศอกและข้อมือจะลดลง หากพิจารณาการเปลี่ยนแปลงของความเร็วของข้อต่อเทียบกับเวลาที่ระยะว่ายต่างกัน พบว่ารูปแบบการเปลี่ยนแปลงความเร็วของข้อต่อเมื่อเทียบกับเวลาไม่มีความแตกต่างกัน ทำให้ผลของงานวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Laffite et al. (2004) พบว่าเมื่อมีความเหนื่อยล้าเพิ่มมากขึ้นความเร็วของนักกีฬาจะลดลงผ่านการเปลี่ยนแปลงของความถี่สโตรกและความยาวสโตรก และสอดคล้องกับผลการวิจัยของ Toussaint and Truijens (2005) ที่พบว่าการลดลงของความเร็วในนักกีฬาว่ายน้ำยังมีผลมาจากการลดลงของความเร็วของมือของนักกีฬา เนื่องจากลักษณะของข้อมือของการว่ายน้ำมีความสำคัญต่อการสร้างกำลังสูงสุดในการว่ายน้ำ สำหรับในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยเก็บข้อมูลความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ พบว่าความเร็วของหัวไหล่ ข้อศอก และข้อมือลดลง เมื่อระยะทางการว่ายเพิ่มขึ้น

ในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้สร้างสมการพยากรณ์การเคลื่อนที่ของมุมการเคลื่อนไหวและความเร็วของข้อต่อด้วยการเคลื่อนที่แบบ Simple Harmonic Motion พบว่าสามารถพยากรณ์การเคลื่อนที่ของมุมและความเร็วของข้อต่อได้ถูกต้องกว่า 80% ผลการวิจัยดังกล่าวสอดคล้องกับแนวคิดของ Tella et al. (2008) ที่เสนอว่าการวิเคราะห์ผลความเหนื่อยล้าที่มีต่อการสร้างแรงผลัก (Propulsive force) สมควร

วิเคราะห์ผ่านการวิเคราะห์ด้วย Fourier Transform เนื่องจากการว่ายน้ำเป็นการกระทำซ้ำ ๆ ลักษณะเดียวกับคลื่น

เมื่อศึกษาวงจรการดึงแขนพบว่ากลุ่มตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 10% ในช่วงแรก ซึ่งเรียกว่า pull ในช่วงแรกนี้หัวไหล่จะทำมุมค่อนข้างคงที่ แต่มุมของข้อศอกจะลดลง และมุมของข้อมือจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากจังหวะนี้เป็นจังหวะที่นักกีฬาใช้ข้อมือเป็นหลักเพื่อดึงน้ำ หรือเพื่อเพิ่มแรงผลักให้กับนักกีฬา ในช่วงที่ 2 ใช้เวลาประมาณ 20% ของการเคลื่อนที่ เรียกว่าช่วง push ช่วงดังกล่าวเป็นช่วงต่อเนื่องระหว่าง pull โดยการเคลื่อนที่ช่วงนี้นักกีฬาจะผลักน้ำจากกลางลำตัวไปด้านหลังเพื่อส่งตัวไปด้านหน้า ในช่วงนี้มุมของหัวไหล่จะลดลง แต่ข้อศอกจะเริ่มเหยียดออก และมุมของข้อมือจะเริ่มเพิ่มขึ้น และช่วงที่ 3 ใช้เวลาประมาณ 40% เรียกว่าช่วง exit เป็นช่วงที่นักกีฬายกแขนให้พ้นน้ำจนถึงกลางลำตัว ในช่วงดังกล่าวหัวไหล่จะทำมุมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่มุมข้อศอกจะลดลงเป็นการงอข้อศอกเพื่อเพิ่มความเร็วเชิงมุมตามกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม และมุมของข้อมือจะลดลงถึงจุดต่ำสุดก่อนที่จะเพิ่มขึ้นเพื่อเตรียมสู่จังหวะสุดท้ายคือช่วง recovery เตรียมเข้าสู่ช่วงที่ 1 ใหม่ ในช่วงนี้มุมหัวไหล่จะเริ่มลดลงอีกครั้งในขณะที่มุมของข้อศอกจะเหยียดออกเพื่อเพิ่มระยะยัดให้กับตัวเองเมื่อแขนลงน้ำ ในขณะที่ข้อมือจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงลงน้ำ

ผลการวิจัยครั้งนี้พบว่ารูปแบบของมุมการเคลื่อนไหวและความเร็วของข้อต่อต่าง ๆ เมื่อระยะต่าง ๆ มีรูปแบบเดียวกัน มีสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการคือ 1. เนื่องจากนักกีฬาว่ายน้ำมีรูปแบบการกวาดแขนในน้ำคงที่ ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของมุมการเคลื่อนไหวและข้อต่อจึงไม่แตกต่างกันมากนัก และ 2. เนื่องจากการวิจัยครั้งนี้คุมความเร็วในการว่ายน้ำ จึงทำให้รูปแบบการ

เคลื่อนไหวของข้อต่อไม่แตกต่างกันตามที่คาดการณ์ไว้

สรุปผลการวิจัย

การว่ายน้ำท่าฟรอนท์ ครอลระยะ 200 เมตรส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของมุมและความเร็วของข้อต่อช่วงบน เมื่อเทียบการเปลี่ยนแปลงของมุมการเคลื่อนไหวของแต่ละข้อต่อกับเวลา ณ ระยะว่ายที่เพิ่มขึ้น รูปแบบการเคลื่อนที่ของข้อต่อเหมือนเดิมแต่เวลาในการเคลื่อนที่ของข้อต่อจะแตกต่างกันไป จากการวิเคราะห์ด้วยสมการพหุคูณแบบ Simple Harmonic Motion พบว่าเมื่อระยะทางว่ายน้ำเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นถึงความล้าที่เพิ่มขึ้น จากการใช้เวลาการเคลื่อนที่ของข้อต่อในแต่ละสโตรกมากขึ้นและส่งผลให้ความเร็วเฉลี่ยของแต่ละข้อต่อแปรผกผันกับระยะว่าย

ข้อเสนอแนะสำหรับการทำวิจัยครั้งต่อไป

งานวิจัยเรื่องการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ของการว่ายน้ำ 200 เมตรท่าฟรอนท์ ครอล ประกอบด้วยการศึกษาการเปลี่ยนแปลงตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในอุโมงค์น้ำ ข้อจำกัดที่สำคัญคือการเก็บข้อมูลในอุโมงค์น้ำที่ซับซ้อนทำให้เก็บข้อมูลได้แค่ระยะบางช่วง นักวิจัยที่สนใจอาจทำการศึกษาในระยะบางด้านหน้าเพิ่มมากขึ้นเพื่อดูลักษณะการเคลื่อนที่ซับซ้อน เช่น pronation supination การเคลื่อนไหวเพียงเล็กน้อยอาจทำให้เกิดความเร็วที่ลดลงได้ นอกจากนี้ นักวิจัยที่สนใจอาจทำการศึกษาเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรทางชีวกลศาสตร์ในการว่ายน้ำในอุโมงค์น้ำกับการว่ายน้ำในสระว่ายน้ำ เพื่อให้เข้าใจถึงผลของการฝึกการว่ายน้ำด้วยอุโมงค์น้ำให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ อาจทำการศึกษาเชื่อมโยงกันระหว่างระบบพลังงานกับชีวกลศาสตร์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสมการพหุคูณของสโตรกกับการใช้พลังงาน

เอกสารอ้างอิง

- Alberty, M., Potdevin, F., Dekerle, J., Pelayo, P., Gorce, P. and Sidney, M. (2008). Changes in swimming technique during time to exhaustion at freely chosen and controlled stroke rates. *Journal of Sports Sciences*, 26(11), 1191-1200.
- Alberty, M., Sidney, M., Huot-Marchand, F., Hespel, J. and Pelayo, P. (2005). Intracyclic velocity variations and arm coordination during exhaustive exercise in front crawl stroke. *International Journal of Sports Medicine*, 26(06), 471-475.
- Allen, D. G., Lamb, G. D. and Westerblad, H. (2008). *Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. Physiological Reviews*, 88(1), 287-332.
- Aujouannet, Y. A., Bonifazi, M., Hintzy, F., Vuillerme, N. and Rouard, A. H. (2006). Effects of a high-intensity swim test on kinematic parametress in high-level athletes. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 31(2), 150-158.
- Barbosa, T. M., Fernandes, R., Keskinen, K., Colašo, P., Cardoso, C., Silva, J. and Vilas-Boas, J. (2006). Evaluation of the energy expenditure in competitive swimming strokes. *International Journal of Sports Medicine*, 27(11), 894-899.
- Berger, M. A. (1999). Determining propulsive force in front crawl swimming: a comparison of two methods. *Journal of Sports Sciences*, 17(2), 97-105.
- Callaway, A. J. (2015). Measuring Kinematic Variables in Front Crawl Swimming Using Accelerometress: A Validation Study. *Sensors*, 15(5), 11363-11386.
- Ceccon, S., Ceseracciu, E., Sawacha, Z., Gatta, G., Cortesi, M., Cobelli, C., & Fantozzi, S. (2013). Motion analysis of front crawl swimming applying CAST technique by means of automatic tracking. *Journal of Sports Sciences*, 31(3), 276-287.
- Craig, A. B., Skehan, P. L., Pawelczyk, J. A. and Boomer, W. L. (1985). Velocity, stroke rate, and distance per stroke during elite swimming competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 17(6), 625-634.
- Chollet, D., Delaplace, C., Pelayo, P., Tourny, C., & Sidney, M. (1997). Stoking characteristic variations in the 100-m freestyle for male swimmers of differing skill. *Perceptual and Motor Skills*, 85(1), 167-177.
- Deschodt, V., Arsac, L. and Rouard, A. (1999). Relative contribution of arms and legs in humans to propulsion in 25-m sprint front-crawl swimming. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 80(3), 192-199.
- Deschodt, V. J. and Arsac, L. M. (2004). Morning vs. evening maximal cycle power and technical swimming ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(1), 149-154.

- Figueiredo, P., Pendergast, D. R., Vilas-Boas, J. P. and Fernandes, R. J. (2013). *Interplay of biomechanical, energetic, coordinative, and muscular factors in a 200 m front crawl swim*. BioMed Research International.
- Gourgoulis, V., Antoniou, P., Aggeloussis, N., Mavridis, G., Kasimatis, P., Vezos, N., . . . Mavromatis, G. (2010). Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. *Journal of Sports Sciences*, 28 (11), 1165-1173.
- Kachaunov, M. (2018). Post-Competition blood lactate concentration in swimmers. *Journal of Applied Sports Sciences*, 1, 30-36.
- Laffite, L. P., Vilas-Boas, J. P., Demarle, A., Silva, J., Fernandes, R. and Louise Billat, V. (2004). Changes in physiological and stroke parametress during a maximal 400-m free swimming test in elite swimmers. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 29(S1), S17-S31.
- Psycharakis, S. G. and Sanders, R. H. (2008). Shoulder and hip roll changes during 200-m front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 40 (12), 2129-2136.
- Pyne, D. B., Lee, H. and Swanwick, K. M. (2001). Monitoring the lactate threshold in world-ranked swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 291-297.
- Sanders, R. H. (1999). Hydrodynamic characteristics of a swimmer's hand. *Journal of Applied Biomechanics*, 15(1), 3-26.
- Tella, V., Toca-Herrera, J., Gallach, J., Benavent, J., González, L. and Arellano, R. (2008). Effect of fatigue on the intra-cycle acceleration in front crawl swimming: A time-frequency analysis. *Journal of Biomechanics*, 41(1), 86-92.
- Toussaint, H. and Truijens, M. (2005). Biomechanical aspects of peak performance in human swimming. *Animal Biology*, 55(1), 17-40.
- Toussaint, H. M. (1990). Differences in propelling efficiency between competitive and triathlon swimmers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 22(3), 409-415.
- Toussaint, H. M., Carol, A., Kranenborg, H. and Truijens, M. J. (2006). Effect of fatigue on stroking characteristics in an arms-only 100-m front-crawl race. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(9), 1635-1642.
- Toussaint, H. M., Van den Berg, C., & Beek, W. J. (2002). "Pumped-up propulsion" during front crawl swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34(2), 314-319.
- Vescovi, J. D., Falenchuk, O., & Wells, G. D. (2011). Blood lactate concentration and clearance in elite swimmers during competition. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 6(1), 106-117.

Wu, G., Van der Helm, F. C., Veeger, H. D.,
Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., . . .
Wang, X. (2005). ISB recommendation on
definitions of joint coordinate systems of

various joints for the reporting of human
joint motion-Part II: shoulder, elbow, wrist
and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5),
981-992.