

นิพนธ์ต้นฉบับ (Original article)

ชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา (Sports Biomechanics)

การวิเคราะห์การควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างเท้าทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาแบบ 3 มิติ

อาริตา ปลื้มถนอม, ศิริรัตน์ หิรัญรัตน์ และ วีรวัฒน์ ลิ้มรุ่งเรืองรัตน์

วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล

999 ถนนพุทธมณฑลสาย 4 ต.ศาลายา อ.พุทธมณฑล จ. นครปฐม 73170

บทคัดย่อ

ทักษะการหมุนตัวเป็นส่วนหนึ่งในกลุ่มท่าที่ใช้ประกอบการแข่งขันกีฬายิมนาสติกลีลา ซึ่งถูกนำมาใช้ประกอบท่าชุดการแข่งขันมากที่สุดและสามารถสร้างคะแนนได้มากที่สุด การหมุนตัวในกีฬายิมนาสติกลีลา มี 2 ประเภท คือ การหมุนตัวทำเดี่ยว (Single pivot) และการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) การหมุนตัวท่าเดี่ยว (Single pivot) ที่น่าสนใจคือท่า 1. Free leg front straight pivot 1 รอบ (R_1) 2. ท่า Passé Pivot 2 รอบ (R_2) และการหมุนตัวท่าผสม (R_{1+2}) การศึกษาทางชีวกลศาสตร์โดยมากจะรายงานด้านกลไกการหมุนตัว มีการศึกษาด้านเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างเท้าทำหมุนตัวในกีฬายิมนาสติกลีลาน้อยมาก งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อศึกษาความแตกต่างของเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคง ระหว่างเท้าทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาแบบการหมุนตัวท่าเดี่ยว (Single pivot) และการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) โดยพิจารณาจาก มุมการเคลื่อนที่จากจุดศูนย์กลางของร่างกายกับจุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวตั้ง (COM-COP inclination angle) งานวิจัยนี้ได้เปรียบเทียบการหมุนตัวท่าเดี่ยวจากท่า R_1 และ R_2 เปรียบเทียบกับ การหมุนตัวท่าผสม R_{1+2} ของนักยิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยจำนวน 7 คน โดยใช้กล้อง 10 ตัว ตั้งค่าความถี่ 100 เฮิร์ตซ์ ให้นักกีฬาติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนร่างกายจำนวน 22 จุด และทำการหมุนตัวบนแผ่นวัดแรงตั้งค่าความถี่ 800 เฮิร์ตซ์ จากการทดสอบสถิติด้วย Wilcoxon matched-pairs signed rank test ซึ่งพบว่า เทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงในการทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลา การหมุนตัวท่าเดี่ยว (Single pivot) และการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อมีการเพิ่มรอบในการหมุนตัว COM-COP inclination angle จะมีค่ามุมมองที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากมีการใช้ลำตัว เพื่อสร้างแรงบิดในการหมุน และลำตัวยังมีบทบาทสำคัญในการดึงแกนร่างกายให้ตั้งตรงขณะหมุนตัว ดังนั้นหากนักยิมนาสติกลีลา ต้องการฝึกการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) หรือเพิ่มรอบการหมุนตัว ควรเพิ่มการสร้างความแข็งแรงของกล้ามเนื้อลำตัว เพื่อให้สามารถควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างการหมุนตัวได้ดียิ่งขึ้น และเพิ่มการฝึกบัลเลย์ให้มากขึ้น เพื่อใช้ในการควบคุมสมดุลในการเคลื่อนที่ (Dynamic Balance) ขณะหมุนตัว

(Journal of Sports Science and Technology 2015;15(1): 27-34)

คำสำคัญ: มุมความเอียงของแกนร่างกาย ยิมนาสติกลีลา การหมุนตัว การควบคุมสมดุล

นิพนธ์ต้นฉบับ (Original article)

ชีวกลศาสตร์ทางการกีฬา (Sports Biomechanics)

THREE-DIMENSIONAL ANALYSIS OF BALANCE CONTROL DURING BASIC ROTATION IN RHYTHMIC GYMNASTICS

Arita PLUEMTHANOM, Sirirat HIRUNRAT and Weerawat LIMROONGREUNGRAT

College of Sports Science and Technology, Mahidol University, Salaya Nakhonpathom Thailand, 73170

ABSTRACT

In Rhythmic Gymnastics (RG), the rotation is a part of the body difficulties (Posture in RG). The Rotation Difficulties are used in the most elements of the movement which have the highest scores. In addition, rotation in RG consists of single and multiple pivots. However, Pivot analysis in RG has less information. Nevertheless, a biomechanics research in Thailand about 3D of basic RG rotation has not been studied yet. The purpose of this study was to investigate the different maintaining balance and stability control during basic rotation in RG. Seven healthy female rhythmic gymnasts in the Thai National team (age 18.43 ± 3.78 ; height 162.71 ± 5.70 cm; body fat 14.75 ± 3.93) who had performed rhythmic gymnastics for 12.14 ± 4.81 years participated in this study. All gymnasts preferred the three basic rhythmic gymnastics rotations such as: Free leg front straight rotation 1 round (R_1), Passé Pivot 2 rounds (R_2) and Multiple Pivots (R_{1+2}) in the counterclockwise direction with the left leg being the supporting leg, which this study used. Ten optoelectronics BTS cameras sampling frequency of 100 Hz and two Force plates sampling frequency of 800 Hz were used to collect data. Wilcoxon matched-pairs signed rank test showed significant differences between single pivot and multiple pivots, it demonstrated the center of mass and center of pressure inclination angles wider when the gymnasts perform multiple pivots and increasing rotation cycles. It is expected that it was a result from multiple pivots is difficult to maintaining balance and stability control than single pivot, the center of mass and center of pressure inclination angles wider affected to the increasing rotation cycles. This may indicate the gymnasts should be emphasized in improvement of core stability training in order to increase rotation cycles. Moreover, ballet training can help the gymnasts to maintain the dynamic balance during rotation.

(Journal of Sports Science and Technology 2015;15(1): 27-34)

KEY WORDS: Rotation axis, Rhythmic Gymnastics, rotations, balance control,

บทนำ

ในกีฬายิมนาสติกลีลาทักษะการหมุนตัวเป็นส่วนหนึ่งในกลุ่มท่าความยาก ที่ใช้ประกอบการแข่งขัน(ท่าการแข่งขันประกอบด้วย ท่าการกระโดด ท่าการทรงตัวและท่าการหมุนตัว) จากผลการสำรวจท่าทางที่ใช้ประกอบท่าชุดการแข่งขันในนักยิมนาสติกลีลาระดับโลกพบว่าทักษะการหมุนตัวเป็นทักษะที่ถูกนำมาใช้ประกอบท่าชุดมากที่สุด¹ สร้างคะแนนได้มากที่สุดในการแข่งขัน¹ และมีความสัมพันธ์กับอันดับโลกของนักกีฬา² การหมุนตัวในกีฬายิมนาสติกลีลาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ใหญ่ๆ คือ การหมุนตัวท่าเดียว (Single pivot) และการหมุนตัวโดยใช้ท่าผสม (Multiple pivots) การหมุนตัวท่าเดียว (Single pivot) คือการหมุนตัวที่ประกอบด้วย 1 ท่าการหมุนตัว โดยนักกีฬาสามารถแสดงท่าการหมุนตัว 1 รอบ หรือมากกว่า 1 รอบขึ้นไป ตามความสามารถนักกีฬาซึ่งการหมุนตัวท่าเดียวที่น่าสนใจศึกษา คือ 1. ท่า Free leg front straight pivot 1 รอบ (R_1) 2. ท่า Passé Pivot 2 รอบ (R_2)¹ สำหรับการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) เป็นการหมุนตัวที่ประกอบด้วย การรวมท่าการหมุนตัว อย่างน้อย 2 ท่าเข้าด้วยกัน³ จนเกิดเป็นท่าการหมุนตัวที่มีความยากเพิ่มขึ้นและมีคะแนนสูงขึ้น ตามกติกาของการแข่งขัน สหพันธ์ยิมนาสติกสากล (International Federation of Gymnastics) เป็นผู้กำหนดกติกาและควบคุมการแข่งขัน ซึ่ง FIG ได้อธิบายลักษณะพื้นฐานของการหมุนตัวที่ดีไว้ดังนี้คือ ต้องมีท่าชัดเจนตลอดการหมุน มีการหมุนอย่างน้อย 360 องศา และมีการหักคะแนนหากนักกีฬามีการสะดุด และแกนลำตัวไม่ตั้งตรงขณะท่าการหมุนตัว³ อย่างไรก็ตามทักษะการหมุนตัว สามารถอธิบายได้ด้วยหลักการทางชีวกลศาสตร์ ซึ่งมีตัวแปรหลายตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้แก่ ความเร็วเชิงมุม แรงบิดในการเคลื่อนไหว และสมดุลของการทรงตัว^{4, 5, 6} ตัวแปรที่สามารถอธิบายถึงการรักษาสสมดุลของร่างกายและความมั่นคงการเคลื่อนที่ได้ดีคือจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย จุดศูนย์รวมความดันและมุมการเคลื่อนที่จากจุดศูนย์ถ่วงของร่างกายกับจุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวดิ่ง (COM-COP inclination angle)^{7, 8, 9, 10}

ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ ได้มีศึกษาการหมุนตัวในนักบัลเล่ต์พบว่า แรงบิดที่เพิ่มขึ้นจากสะโพก ข้อเท้าและหัวเข่าจากขาที่ยืนเป็นฐานขณะหมุนตัวมีผลทำให้จำนวนรอบในการหมุนตัวเพิ่มมากขึ้น^{5, 6, 11} อย่างไรก็ตามการศึกษาวิจัยทางชีวกลศาสตร์ของทักษะการหมุนตัว แบบ 3 มิติ และเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างท่าท่าหมุนตัวยิมนาสติกลีลา ยังไม่เคยมีการศึกษามาก่อนในประเทศไทย ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้สนใจศึกษาการวิเคราะห์ทางชีวกลศาสตร์แบบ 3 มิติของท่าพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลา โดยผู้วิจัยคาดหวังว่า งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาทักษะการหมุนตัวให้แก่นักกีฬายิมนาสติกลีลาและเป็นพื้นฐานนำไปสู่การพัฒนาท่าการหมุนตัว ที่มีระดับยากเพิ่มขึ้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อ ทำการศึกษาความแตกต่างของเทคนิคการควบคุมสมดุล และความมั่นคงระหว่างท่าท่าพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาที่แตกต่างกัน

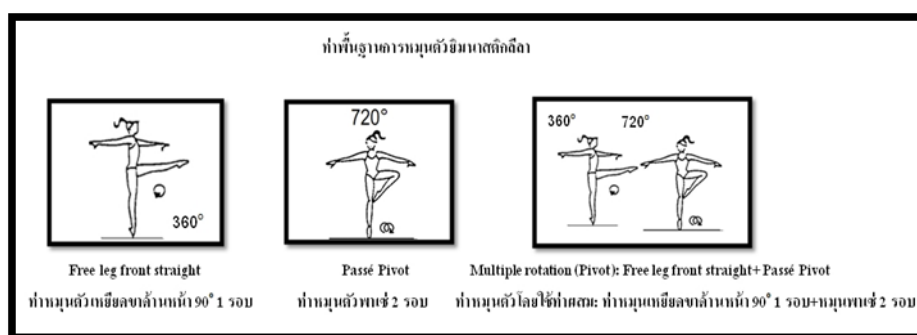
วิธีการศึกษา

นักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย อายุ 15-27 ปี จำนวน 7 คน อาสาสมัครเข้าร่วมงานวิจัยนี้ ก่อนเริ่มดำเนินการวิจัย นักกีฬาทุกคนที่เข้าร่วมได้รับทราบรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัย และเซ็นใบยินยอมเข้าร่วมงานวิจัยซึ่งผ่านการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยมหิดล เกณฑ์ในการคัดออก คือ ผู้ที่มีอาการป่วยและมีอาการบาดเจ็บที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการหมุนตัว

อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วย กล้องอินฟราเรด 10 กล้อง(BTS Bioengineering Inc., Italy) ตั้งความถี่ 100 ภาพต่อวินาที, กล้องวิดีโอ (Vixta™) 2 กล้อง ตั้งความถี่ 25 ภาพต่อวินาที แผ่นวัดแรง (Force platform) ขนาด 40 x 60 ซม จำนวน 2 แผ่น (Kistler Inc, Switzerland) ตั้งความถี่ 800 เฮิรตซ์ โปรแกรม SMART Capture, Tracker, Analyzer (BTS Bioengineering Inc., Italy) และโปรแกรม Visual3D (C-motion, Germantown, MD, USA)

ก่อนเริ่มการวิจัย จะให้ผู้เข้าร่วมวิจัยทำการอบอุ่นร่างกายและยืดเหยียดกล้ามเนื้อเป็นเวลา 20 นาที จากนั้นทำการติดเครื่องหมายสะท้อนแสงบนร่างกายจำนวน 22 จุดตามรูปแบบการติดเครื่องหมายของ Davis และให้ผู้เข้าร่วมวิจัยฝึกหมุนบนแผ่นวัดแรง เป็นเวลา 5 นาที เพื่อให้ผู้เข้าร่วมวิจัยคุ้นเคยกับการหมุนตัว ผู้เข้าร่วมวิจัยแต่ละคนจะทำการหมุนตัว 3 ท่า ดังนี้ 1. ท่า Free leg front straight pivot 1 รอบ (R_1) 2. ท่า Passé Pivot 2 รอบ (R_2) และ 3. ท่าหมุนตัวผสม (multiple pivots) (R_{1+2}) : ท่า Free leg front straight rotation 1 รอบ และ Passé Pivot 2 รอบ ผู้เข้าร่วมวิจัยทุกคนจะต้องทำการหมุนตัว ท่าละ 3 ครั้ง ในแต่ละครั้งจะพัก 1 นาที ซึ่งลำดับของท่าหมุนตัวจะถูกสุ่มให้นักกีฬาแต่ละคน ข้อมูลดิบถูกกรองสัญญาณด้วย โปรแกรม Visual3D (C-motion, Germantown, MD, USA) จากนั้นจะทำการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของร่างกาย (Center of Gravity) จุดศูนย์กลางความดัน (Center of pressure) และมุมระหว่างจุดศูนย์กลางของร่างกาย-จุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวดิ่ง (COM-COP inclination angle) โดยผู้วิจัยทำการเลือกการหมุนครั้งที่สมบูรณ์ที่สุด นำมาวิเคราะห์ทางสถิติต่อไป ความสมบูรณ์ในทักษะการหมุนจะพิจารณาตามหลักการให้คะแนนในการแข่งขันยิมนาสติกลีลาที่ระบุไว้ในหนังสือ Code of points ปี 2013 – 2016³

ภาพที่ 1 แสดงท่าพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาที่ใช้ในการวิจัย

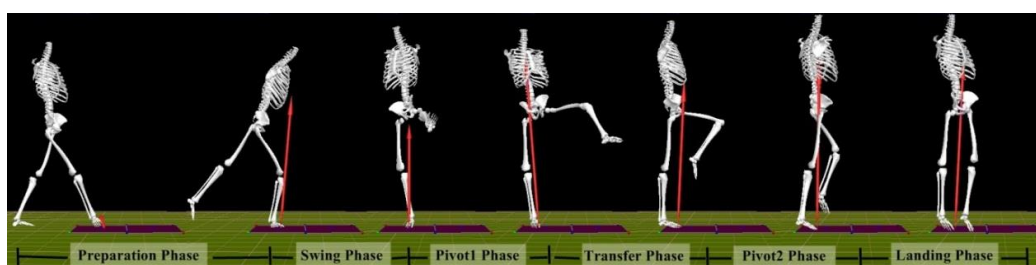


การวิเคราะห์ทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติใช้โปรแกรม SPSS version 17 (SPSS Inc. Chicago, IL, USA) โดยใช้วิธีวิเคราะห์ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรต่างๆ สถิติ Shapiro-Wilks ถูกนำมาใช้ทดสอบการกระจายตัวของข้อมูลและเนื่องจากข้อมูลส่วนใหญ่มีการกระจายตัวไม่ปกติ ดังนั้นสถิติ Wilcoxon matched-pairs signed rank test จึงถูกนำมาใช้ทดสอบเพื่อเปรียบเทียบมุมการเคลื่อนที่ จากจุดศูนย์กลางของร่างกายกับจุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวดิ่ง (COM-COP inclination angle) ในท่าพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาที่แตกต่างกัน โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติเท่ากับ 0.05

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยจะมีการวิเคราะห์ ตามช่วงการเคลื่อนไหวก่อน ซึ่งในท่า R_1 และ R_2 แบ่งการเคลื่อนไหวก่อนออกเป็น 4 ช่วงได้แก่ ช่วงเตรียมตัวหมุน (preparation phase), ช่วงเหวี่ยงขา (Swing Phase), ช่วงหมุนตัว (Pivot Phase) และช่วงลงสู่พื้น (Landing phase) สำหรับ R_{1+2} จะมี 6 ช่วงการเคลื่อนไหวก่อน เนื่องจากเป็นการรวมท่า R_1 และ R_2 ทำให้มีช่วงหมุนตัวและการเปลี่ยนท่าเพิ่มขึ้น การแบ่งช่วงการเคลื่อนไหวก่อนประยุกต์มาจากการศึกษาการหมุนตัวก่อนหน้านี้⁸



ภาพที่ 2 แสดงการแบ่งช่วงการเคลื่อนไหวที่ใช้ในการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานคุณสมบัติของนักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย (n = 7)

ตัวแปร	ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
อายุ (ปี)	18.43 ± 3.78
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	162.71 ± 5.70
น้ำหนักตัว (กิโลกรัม)	45.99 ± 3.63
ดัชนีมวลกาย (กก/ม ²)	17.35 ± 0.75
เปอร์เซ็นต์ไขมัน	14.75 ± 3.93
ประสบการณ์การฝึกยิมนาสติกลีลา (ปี)	12.14 ± 4.81
ประสบการณ์การฝึกบัลเล่ต์ (ปี)	2.93 ± 2.65

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของมุมระหว่างจุดศูนย์ถ่วงของร่างกาย-จุดศูนย์กลางความดันของร่างกายกระทำกับแนวดิ่ง (COM-COP inclination angle) ระหว่างท่า R_1 - R_{1+2} และ R_2 - R_{1+2}

ช่วงการเคลื่อนไหว		COM-COP inclination angle ระหว่าง R_1 - R_{1+2} (องศา)			COM-COP inclination angle ระหว่าง R_2 - R_{1+2} (องศา)		
		R_1	R_{1+2}	p-value	R_2	R_{1+2}	p-value
Preparation	Max	40.71 $\pm$ 1.54	40.77 $\pm$ 1.66	0.74	39.54 $\pm$ 2.18	40.77 $\pm$ 1.66	0.02*
	Mean	38.35 $\pm$ 1.79	38.45 $\pm$ 1.92	0.74	37.60 $\pm$ 2.34	38.45 $\pm$ 1.92	0.02*
	Min	35.44 $\pm$ 2.51	35.69 $\pm$ 2.50	0.31	35.40 $\pm$ 2.64	35.69 $\pm$ 2.50	0.31
Swing	Max	37.25 $\pm$ 1.55	37.71 $\pm$ 1.64	0.61	37.97 $\pm$ 1.71	37.71 $\pm$ 1.64	0.40
	Mean	29.04 $\pm$ 4.43	30.88 $\pm$ 3.22	0.09	30.73 $\pm$ 3.28	30.88 $\pm$ 3.22	0.61
	Min	17.23 $\pm$ 8.56	20.11 $\pm$ 6.04	0.13	20.27 $\pm$ 7.30	20.11 $\pm$ 6.04	0.74
Pivot	Max	16.99 $\pm$ 8.54	19.95 $\pm$ 5.95	0.06*	20.38 $\pm$ 6.98	21.54 $\pm$ 6.11	0.31
	Mean	14.14 $\pm$ 8.50	17.20 $\pm$ 7.02	0.03*	17.54 $\pm$ 7.84	19.46 $\pm$ 7.17	0.18
	Min	12.61 $\pm$ 8.54	15.38 $\pm$ 8.19	0.03*	13.01 $\pm$ 9.85	16.42 $\pm$ 9.16	0.60
Landing	Max	26.02 $\pm$ 4.42	27.07 $\pm$ 2.48	0.40	22.74 $\pm$ 10.28	27.07 $\pm$ 2.48	0.40
	Mean	20.18 $\pm$ 7.62	23.29 $\pm$ 4.70	0.03*	18.61 $\pm$ 8.88	23.29 $\pm$ 4.70	0.40
	Min	14.05 $\pm$ 8.96	17.28 $\pm$ 9.52	0.24	15.11 $\pm$ 8.69	17.28 $\pm$ 9.52	0.61

*มีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

จากผลการวิเคราะห์ทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบ COM-COP inclination angle ขณะทำการหมุนตัวท่าพื้นฐานระหว่างท่า R_1 และ R_{1+2} ในช่วงการเคลื่อนไหว Preparation และ Swing ไม่พบว่าการหมุนตัวท่าพื้นฐานทั้งสองท่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในทางตรงกันข้ามช่วงการเคลื่อนไหว Pivot พบว่า ค่า Max, Mean และ Min มุมเอียงของแกนร่างกายระหว่างท่า R_1 และ R_{1+2} มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และ ในช่วงการเคลื่อนไหว Landing พบว่า ค่า Mean มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบมุมเอียงของแกนร่างกาย ขณะทำการหมุนตัวท่าพื้นฐาน ระหว่างท่า R_2 และ R_{1+2} มีเพียงช่วงการเคลื่อนไหว Preparation เท่านั้นที่มี ค่า Max และ Mean มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ สำหรับช่วงการเคลื่อนไหว Swing, Pivot และ Landing ไม่พบว่าการหมุนตัวท่าพื้นฐานทั้งสองท่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

บทวิจารณ์

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างท่าท่าพื้นฐาน การหมุนตัวยิมนาสติกลีลา ซึ่งงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่วิเคราะห์การหมุนตัวนักยิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยแบบ 3 มิติ และได้รายงานถึง ตัวแปรด้านการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างท่าท่าพื้นฐานการหมุนตัวซึ่งก็คือ COM-COP inclination angle โดยการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยตั้งสมมติฐานไว้ว่า COM-COP inclination angle ระหว่างท่าท่าการหมุนตัว

ท่าเดียว (Single pivot) และการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) ของนักยิมนาสติกลีลาที่มีความแตกต่างกัน ซึ่งผลการวิจัยสนับสนุนสมมติฐานนี้โดยพิจารณาได้จากท่า R_{1+2} ซึ่งเป็นท่าที่เกิดจากการรวมท่า R_1 และ R_2 เข้าด้วยกัน จากผลการวิจัยจะเห็นว่า เมื่อมีการเพิ่มรอบการหมุนตัว COM-COP inclination angle มีองศาที่เพิ่มมากขึ้น เห็นได้ชัดเจนจากช่วงการเคลื่อนไหว Pivot และ Landing ระหว่าง R_1 และ R_{1+2} และช่วงการเคลื่อนไหว Preparation ระหว่าง R_2 และ R_{1+2} สำหรับช่วงการเคลื่อนไหวอื่นถึงแม้จะไม่มี ความแตกต่างทางสถิติแต่มีความเอียงของแกนร่างกายก็มีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นเมื่อมีการเพิ่มรอบการหมุนตัว ซึ่งสามารถอธิบายผลได้ว่า เมื่อมีเพิ่มรอบการหมุนตัว การควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างหมุนตัวจะมีความยากลำบากมากขึ้น นักยิมนาสติกลีลาจะต้องเพิ่มเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างหมุนตัวโดยการเพิ่มมุมองศาของลำตัวในช่วงเริ่มต้น เพื่อสร้างแรงบิด (Torque) และเพิ่มโมเมนตัมเชิงมุม (Angular momentum) ในการหมุนตัว โดยเมื่อเริ่มทำการหมุนตัวทั้งสามท่า COM-COP inclination angle จะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนรอบการหมุนตัว และจะลดลงเมื่อเริ่มมีการเหยียดขา เมื่ออยู่ในช่วงหมุนตัว(Pivot phase)นักยิมนาสติกลีลาจะพยายามควบคุม COM-COP inclination angle ให้มีความเอียงน้อยที่สุดเพื่อให้ร่างกายสามารถรักษาสถิติและความมั่นคงตลอดจนสิ้นสุดการหมุน และ COM-COP inclination angle จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งในช่วงลงสู่พื้น(Landing phase) หากนักยิมนาสติกลีลาสูญเสียการทรงตัว ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ลักษณะการหมุนตัวในนักบัลเล่ต์ที่ได้ทำการศึกษา ก่อนหน้านี้และพบว่า แรงบิดที่เพิ่มขึ้นจากการเหยียดสะโพกและการเหยียดหัวเข่า (Knee extensor hip extensor) จากขาที่ยืนเป็นฐานขณะหมุนตัวและแรงบิดจากการงอสะโพกและเหยียดหัวเข่า (Knee extensor hip flexor) ของขาที่ทำ การเหยียด^{5, 6, 11} และการควบคุมการทรงตัว มีผลทำให้จำนวนรอบในการหมุนตัวเพิ่มมากขึ้น^{12, 13} นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่า ลักษณะของนักยิมนาสติกลีลามีผลต่อการควบคุมสมดุลในการเคลื่อนที่ (Dynamic Balance) ด้วย ซึ่งจากงานวิจัยก่อนหน้านี้พบว่าประสิทธิภาพการฝึกบัลเล่ต์ มีผลต่อการควบคุมสมดุลในการเคลื่อนที่ (Dynamic Balance)¹⁴ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพ การฝึกบัลเล่ต์ของนักกีฬา ยิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย และนักบัลเล่ต์อาชีพที่มีความสามารถทางด้านการหมุนตัวพบว่า นักกีฬานักบัลเล่ต์อาชีพมีประสิทธิภาพการฝึกบัลเล่ต์มากกว่านักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทย อย่างไรก็ตามจากผลการศึกษานี้ได้แสดงให้เห็นว่า เทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงระหว่างท่าทำพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลาเป็นไปตามสมมติฐานของผู้วิจัย

สรุปผลการวิจัย

ในการทำท่าพื้นฐานการหมุนตัวยิมนาสติกลีลา การหมุนตัวท่าเดียว(Single pivot) และการหมุนตัวท่าผสม (Multiple pivots) มีเทคนิคการควบคุมสมดุลและความมั่นคงที่แตกต่างกันซึ่งพิจารณาได้จากThe COM-COP inclination angle ซึ่งการหมุนตัวท่าผสม(Multiple pivots)จะทำได้ยากกว่า โดยเมื่อนักยิมนาสติกลีลาหมุนตัวโดยใช้ท่าผสม(Multiple pivots) จะต้องให้ลำตัวช่วยในการสร้างแรงบิดหมุนตัวมากกว่าการหมุนตัวท่าเดียว(Single pivot) และเมื่อเริ่มหมุนตัวไปแล้ว นักยิมนาสติกลีลาจะควบคุมสมดุลและความมั่นคงในการหมุนตัวโดยการดึงลำตัวให้ตั้งตรง ดังนั้นหากนักกีฬาต้องการเพิ่มรอบการหมุนตัว นักกีฬาควรเพิ่มการฝึกความแข็งแรงกล้ามเนื้อลำตัว เพื่อช่วยในการควบคุมสมดุลและความมั่นคงขณะหมุนตัวและเพิ่มการฝึกทักษะบัลเล่ต์ให้มากขึ้นเพื่อในการควบคุมสมดุลในการเคลื่อนที่(Dynamic Balance)

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ อาจารย์ กุศลมาลย์ ประเสริฐศรี กรรมการบริหารและประธานฝ่ายยิมนาสติกลีลา สมาคมยิมนาสติกแห่งประเทศไทย ที่สนับสนุนการเก็บงานวิจัย นักกีฬายิมนาสติกลีลาทีมชาติไทยทุกคนที่เข้าร่วมในงานวิจัยนี้ คณะที่มวิจัย วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล ที่ช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล และขอขอบคุณ สมาคมศิษย์เก่าบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Agopyan A. Analysis of body movement difficulties of individual elite rhythmic gymnasts at London 2012 Olympic Games finals. *Middle East J Sci Res.* 2014;19(12):1554-1565.
2. Ávila-Carvalho L, PALOMERO M, DA L, LEBRE E. Apparatus difficulty in groups routines of elite rhythmic gymnastics at the Portimão 2009 World cup series. *Sc Gym J.* 2010;2(3):29-42.
3. Fédération International De Gymnastique-FIG. 2013 – 2016 CODE OF POINTS. 2013:8-34.
4. Imura A, Iino Y, Kojima T. Biomechanics of the continuity and speed change during one revolution of the Fouetté turn. *Hum Mov Sci.* 2008;27(6):903-913.
5. Imura A, Yeadon MR. Mechanics of the Fouetté turn. *Hum Mov Sci.* 2010;29(6):947-955.
6. Imura A, Iino Y, Kojima T. Kinematic and Kinetic analysis of the Fouetté turn in classical ballet. *J Appl Biomech.* 2010;26(4):484-492.
7. Hrysomallis C. Balance ability and athletic performance. *J Sport Med* 2011;41(3):221-232.
8. Seo S-M, Ryu J-S, Kim T-S. The Biomechanical analysis of two and half rotation technic of Penche in rhythmic gymnastics. *Korean J Sport Biomech.* 2011;21(3):269-279.
9. Lin C-W, Su F-C, Wu H-W, Lin C-F. Effects of leg dominance on performance of ballet turns (pirouettes) by experienced and novice dancers. *J Sports Sci.* 2013;31(16):1781-1788.
10. Lee H-J, Chou L-S. Detection of gait instability using the center of mass and center of pressure inclination angles. *Arch Phys Med Rehabil.* 2006;87(4):569-575.
11. Fulop C, Davis T, Timm C, Robertson D. Kinetic analysis of the lower limb during the Pirouette in ballet. *J Biomech.* 2007;40:S81.
12. Zaferiou AM, McNitt-Gray JL. Mechanisms dancers use to maintain balance and regulate reaction forces when turning. *ASB 36th -Conference Proceedings Archive;* 2012.
13. Imura A, Kojima T, editors. Strategy of balance control during Pirouette in classical ballet. *ISBS-Conference Proceedings Archive;* 2013.
14. Do IY, Chung CS, Shin IS, editors. Effect of ballet-experience of 12-year-old female children on the learning of dynamic balance control. *ISBS-Conference Proceedings Archive;* 2008.