

ผลของการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์แบบทันทีที่ส่งผลต่อคลื่นไฟฟ้าสมองและเวลาปฏิบัติการ
ตอบสนองในกลุ่มวัยรุ่นที่ออกกำลังกายเป็นประจำและไม่ค่อยออกกำลังกาย

ปัทมา เกิดกาญจน์¹, วรสิทธิ์ ศิริพรพาณิชย์², ณัฐวิณี ศรีเกตุ¹, ภูติส ศรีเกตุ¹, วาริ วิดจาया³

¹ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ สถาบันการพลศึกษา วิทยาเขตตรัง จ.ตรัง, 92140

² ศูนย์วิจัยประสาทวิทยาศาสตร์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์โมเลกุล มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม, 73170

³ วิทยาลัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการกีฬา มหาวิทยาลัยมหิดล จ.นครปฐม, 73170

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (นินเทนโด® วี พิต™) แบบทันทีที่ส่งผลต่อคลื่นไฟฟ้าสมองและเวลาปฏิบัติการตอบสนองในกลุ่มวัยรุ่นที่ออกกำลังกายเป็นประจำและไม่ค่อยออกกำลังกาย ผู้เข้าร่วมวิจัยอายุระหว่าง 18-25 ปี และได้รับการแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 : กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเป็นกลุ่มควบคุม (Active Control; AC n=10) กลุ่มที่ 2 : กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (Active Wii; AW n=10) กลุ่มที่ 3 : กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (Sedentary Wii; SW n=10) และกลุ่มที่ 4 : กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเป็นกลุ่มควบคุม (Sedentary control; SC n=10) ในวันที่ทำการทดลองจะทำการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ในระหว่างการนั่งหลับตาเป็นระยะเวลา 5 นาที แล้วจึงค่าเวลาปฏิบัติการตอบสนองก่อนและหลังการทดสอบ โดยกลุ่มที่เล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (AW และ SW) จะทำการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ที่ระดับความหนักเบาจนถึงปานกลางเป็นระยะเวลา 20 นาที และกลุ่มควบคุม (AC และ SC) จะทำการนั่งพักบนเก้าอี้ที่นิ่งสบายเป็นระยะเวลา 20 นาที ตัวแปรที่ใช้วัด คือ คลื่นไฟฟ้าสมอง ได้แก่ คลื่นบีต้า, คลื่นแกมมา, คลื่นอัลฟา และอัตราส่วนของคลื่นบีต้า/คลื่นแกมมา โดยใช้เครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง และค่าเวลาปฏิบัติการตอบสนอง (Reaction time) ต่อการมองเห็น และการได้ยิน ผลการศึกษาพบว่าคลื่นอัลฟาจะเพิ่มขึ้นภายหลังการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเวลาปฏิบัติการตอบสนองต่อการมองเห็นจะลดลงภายหลังการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) นอกจากนี้เมื่อเทียบภายหลังการทดสอบยังพบว่า กลุ่ม AW มีค่าเวลาปฏิบัติการตอบสนองต่อการมองเห็นสั้นกว่ากลุ่ม AC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการออกกำลังกายด้วยการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์แบบทันทีที่ระดับความหนักเบาจนถึงปานกลาง ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงต่อคลื่นไฟฟ้าสมอง เวลาปฏิบัติการตอบสนอง และยังช่วยให้มีการเพิ่มการผ่อนคลาย และการมีสมาธิที่ดีขึ้นได้ในกลุ่มวัยรุ่น

คำสำคัญ: เกมแบบปฏิสัมพันธ์, คลื่นไฟฟ้าสมอง, เวลาปฏิบัติการตอบสนอง, วัยรุ่น

**THE ACUTE EFFECT OF EXERGAME ON BRAIN WAVES AND REACTION TIME IN
ACTIVE AND SEDENTARY YOUNG ADULTS**

Pattama KHERDKARN¹, Vorasith SIRIPORNPANICH², Natthawee Sriket¹, Phudis Sriket¹, Waree WIDJAJA³

¹ Faculty of Sports and health science, Institute of Physical Education, Trang Campus, Thailand 92140

² Research Center for Neuroscience, Institute of Molecular Biosciences, Mahidol University, Thailand 73170

³ College of Sports Science and Technology, Mahidol University, Thailand 73170

ABSTRACT

The purpose of the study was to investigate the acute effect of exergame (Nintendo[®] Wii Fi[™]) on brain waves and reaction time in active and sedentary young adults. Forty participants aged 18-25 years old were divided into 4 groups; Group 1: Active Control group (AC; n=10), Group 2: Active Wii group (AW; n=10), Group 3: Sedentary Wii group (SW; n=10) and Group 4: Sedentary Control group (SC; n=10). On the experimental day, the brain waves were recorded with closed eyes for 5 minutes and reaction time was measured at pre and post-test. After that, the AW and the SW groups performed exercise by using Wii games at mild to moderate exercise intensity for 20 minutes while the AC and the SC groups sat on comfortable chair for 20 minutes. The brain waves variables of Theta waves, Beta waves, Alpha waves, and Theta/Beta ratio by electroencephalogram and the visual and auditory reaction time were measured. The results of the study found that alpha amplitude significantly increased after exergame exercise ($p < 0.05$). The visual reaction time was significantly decreased after exergame exercise in AW and SW groups ($p < 0.05$). In addition, the visual reaction time in the AW group was significantly shorter than that in the AC group at post-test ($p < 0.05$). Conclusion, the acute effects of exergame at mild to moderate exercise intensity caused the change brain waves and reaction time. It may help attention and decision making in young adults.

KEYWORDS: Exergame, Brain waves, Reaction time, Young adults

บทนำ

สำนักงานสถิติแห่งชาติ (National Statistical Office Thailand) (1) รายงานว่า จากการสำรวจกิจกรรมทางกายของประชากร ในปี 2558 พบว่า ประชากรอายุ 15 ปีขึ้นไป จำนวน 55.2 ล้านคน มีผู้ที่เล่นกีฬา หรือทำกิจกรรมทางกายเพียง 12.0 ล้านคน คิดเป็น 23.4% และในปัจจุบันความก้าวหน้าทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ทำให้มีความสะดวกสบายยิ่งขึ้น แต่ในทางกลับกันส่งผลให้ประชาชนมีการออกกำลังกายลดลง จากการสำรวจกลุ่มตัวอย่างของกระทรวงวัฒนธรรมร่วมกับสถาบันสุขภาพจิตและวัยรุ่นพบว่า มีเยาวชนที่ติดเกมจำนวน 2.7 ล้านคน จากเยาวชนทั้งหมด 18 ล้านคน (2) ซึ่งโดยปกติและเราควรจะมีการออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมทางกายประมาณ 150 นาทีต่อสัปดาห์ (30 นาทีต่อวัน, 5 วันต่อสัปดาห์) (3) เพื่อการมีสุขภาพทางกายที่ดี

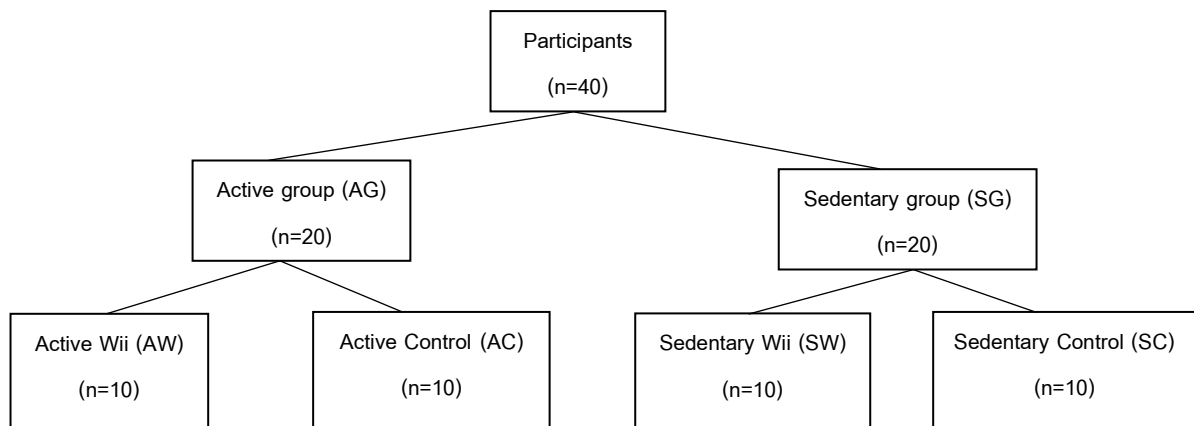
การออกกำลังกายในรูปแบบเกมหรือที่เรียกกันว่า “เกมแบบปฏิสัมพันธ์ หรือ Exergame” เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้คนหันมาสนใจการออกกำลังกายมากขึ้น เหมาะสำหรับผู้ที่ชอบออกกำลังกายที่บ้านหรือออกกำลังกายกับครอบครัว โดยรูปแบบของเกมแบบปฏิสัมพันธ์เป็นเกมจำลองสภาพเหมือนจริง (Virtual reality) ร่วมกับการแสดงข้อมูลแบบป้อนกลับ (Visual feedback) เพื่อให้ผู้เล่นได้ทราบถึงความถูกต้องและคะแนนจากการเล่นเกม การศึกษาของ Lanningham และคณะ ในปี 2009 (4) พบว่า การเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ช่วยให้ร่างกายมีการใช้พลังงานมากขึ้น นอกจากนี้การศึกษาของ Mongkol และคณะ ในปี 2016 (5) ได้ทำการศึกษาผลของการฝึกรูปแบบของเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (เกมเดินนินเทนโดวี) เป็นระยะเวลา 6 สัปดาห์ต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจในคนอ้วนเพศหญิง ผลการศึกษาพบว่า การออกกำลังกายด้วยเกมเดินนินเทนโดวีส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของดัชนีมวลกายมีค่าลดลงและยังพบว่าความแข็งแรงของกล้ามเนื้อหายใจเข้าและออกของผู้ที่มีภาวะอ้วนเพศหญิงมีค่าเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายด้วยเกมเดินนินเทนโด นอกจากนี้ในปี 2008 Gave และคณะ พบว่าการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ด้วยเกม Wii Sport มีการใช้ออกซิเจน (VO_2) มากกว่าเกมปฏิสัมพันธ์แบบ XBOX360 (6) ซึ่งได้มีการแนะนำว่าควรออกกำลังกายอย่างน้อย 30 นาทีต่อวัน, 5 วันต่อสัปดาห์ จะช่วยให้มีการใช้พลังงานประมาณ 1005 กิโลแคลอรี ตามที่ American College of Sports Medicine (ACSM) แนะนำ (Haskell และคณะ, 2007) (7) และนอกจากนี้ Mongkol และคณะยังพบว่า การออกกำลังกายด้วยการเล่นเกมเดินนินเทนโดวี ที่ระดับความหนัก 60-75% ของอัตราการเต้นของหัวใจสูงสุด จะช่วยลดดัชนีมวลกายและเพิ่มอัตราการใช้ออกซิเจนสูงสุด (8) และการศึกษาของ Kherdkarn และคณะในปี 2015 พบว่าการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์แบบทันทีสามารถพัฒนาการทำงานของหัวใจในวัยรุ่นได้ (9)

นอกจากการออกกำลังกายจะส่งผลต่อระบบพลังงานของร่างกายแล้ว ยังมีการศึกษาที่กล่าวถึงการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมองอีกด้วย ซึ่งคลื่นสมอง (Brain waves) คือ กิจกรรมการทำงานของสมอง ซึ่งสามารถวัดได้โดยเครื่องมือที่เรียกว่า Electroencephalogram (EEG) สามารถแยกคลื่นไฟฟ้าสมองออกเป็น 4 กลุ่ม ได้แก่ คลื่นเดลต้า (<4 เฮิร์ต) พบในช่วงหลับลึกและไม่ฝัน, คลื่นธีต้า (4-8 เฮิร์ต) พบในช่วงที่ง่วงนอน ระยะการนอนหลับในช่วงแรก และในระหว่างการทำสมาธิ, คลื่นอัลฟา (8-13 เฮิร์ต) พบในช่วงที่ร่างกายมีการผ่อนคลาย และเบต้า (13-30 เฮิร์ต) พบในช่วงที่ร่างกายเกิดการตื่นตัว ซึ่งจากการศึกษาของ Fumoto และคณะ ปี 2010, Brümmer และคณะ ปี 2011, Mierau และคณะ ปี 2014 (10-12) พบว่าภายหลังการออกกำลังกายแบบทันทีจะช่วยส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของคลื่นอัลฟา และการศึกษาของ Mechau และคณะ (13) พบว่า ภายหลังการออกกำลังกายที่ไม่ทำให้เกิดกรดแลคเตทจะส่งผลให้คลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้น ในขณะที่การออกกำลังกายที่เพิ่มระดับของกรดแลคเตทส่งผลให้คลื่นอัลฟาลดลง และในปี 2010 Timinkul และคณะ (14) พบว่าการปั่นจักรยาน เป็นระยะเวลา 10 นาที ที่ระดับความหนักร้อยละ 20 และ 40 ของความสามารถในการใช้ออกซิเจนสูงสุดช่วยให้คลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งคลื่นอัลฟาจะพบได้ในขณะที่ร่างกายหรือจิตใจผ่อนคลาย (15) การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการออกกำลังกายแบบทันทีต่อการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมองและ

เวลาปฏิริยาการตอบสนองภายหลังการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ เพื่อให้วัยรุ่นได้ตระหนักถึงความสำคัญของการออกกำลังกายและนำผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้ไปใช้ในการสร้างเสริมสุขภาพต่อไป

วิธีการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีกลุ่มตัวอย่างอายุระหว่าง 18-25 ปี จำนวน 40 คน และได้รับการแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 : กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเป็นกลุ่มควบคุม (Active Control; AC n=10) กลุ่มที่ 2 : กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (Active Wii; AW n=10) กลุ่มที่ 3 : กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (Sedentary Wii; SW n=10) และกลุ่มที่ 4 : กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเป็นกลุ่มควบคุม (Sedentary control; SC n=10) (ภาพ 1) โดยกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำ (AC และ AW) จะต้องเป็นผู้ที่มีการออกกำลังกาย 3 วันต่อสัปดาห์ ระยะเวลา 30-60 นาทีต่อวัน เป็นระยะเวลาอย่างน้อย 1 หรือ 2 ปี และกลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกาย (SC และ SW) เป็นผู้ที่ไม่ค่อยออกกำลังกายหรือมีกิจกรรมทางกาย โดยออกกำลังกายน้อยกว่า 2 วันต่อสัปดาห์ นอกจากนี้ยังวัดค่าการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ด้วยวิธีการทดสอบของ Bruce Protocol เพื่อเป็นเกณฑ์ในการคัดเลือกเข้ากลุ่ม การวิจัยครั้งนี้ผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องไม่เคยเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์มาก่อน



รูปที่ 1 : Participant คือ จำนวนกลุ่มตัวอย่าง

- AG คือ กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำ
- SG คือ กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกาย
- AW คือ กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์
- AC คือ กลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเป็นกลุ่มควบคุม
- SW คือ กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์
- SC คือ กลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายและเป็นกลุ่มควบคุม

การศึกษานี้ใช้เกมแบบปฏิสัมพันธ์ (Nintendo® Wii Fi™) โดยใช้ควบคู่กับโทรทัศน์ในการทดสอบ ซึ่งรูปแบบของเกมจะใช้มือควบคุมรีโมท หรือวีโมท (Wiimote) เพื่อใช้ในการตอบสนองต่อเกม และ Balance board ในการควบคุมการทรงตัวสำหรับเกมที่มีการทรงตัว และในการทดสอบครั้งนี้วัดการทำงานของคลื่นไฟฟ้าสมอง ด้วยเครื่องวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ซึ่งเป็นการตรวจแบบไม่รุกล้ำ (Non-invasive) ซึ่งจะทำการติดอิเล็กโทรดที่บริเวณกึ่งกลางศีรษะ (Cz) และวัดค่าเวลาปฏิริยาการตอบสนอง (Reaction time)

ก่อนวันทำการทดสอบ ผู้วิจัยทำการซักประวัติและวัดสัดส่วน ได้แก่ น้ำหนัก, ส่วนสูง, ดัชนีมวลกาย, ความดันโลหิตขณะพัก, มวลไขมัน, มวลกล้ามเนื้อ, แบบสอบถามประวัติการออกกำลังกาย (PAR-Q) และแบบสอบถามความถี่การใช้มือขวา เพื่อใช้ในการคัดกรองผู้เข้าร่วมการวิจัยก่อนการทดสอบ ก่อนทำการทดสอบผู้เข้าร่วมวิจัยจะต้องสร้างความคุ้นเคยกับเกม 1 ครั้ง ก่อนการทดสอบจริง โดยจะประกอบด้วย 7 เกม ได้แก่ เกมเพนกวิน, เกมฟุตบอล, เกมบวกลเลข (Perfect10), เกมนกบิน (Birdfly), เกมฮูลาฮูป, เกมข้ามสิ่งกีดขวาง (Obstacle) และเกมวิ่ง (Free run) (รูปที่ 2) โดยจะมีการเรียงลำดับเกมที่ระดับความหนักเบาไปจนถึงปานกลาง (Kherdkarn และคณะ ปี 2015) (9)

รูปที่ 2



ก



ข



ค



ง



จ



ฉ



ช

รูปที่ 2: ตัวอย่างเกมแบบปฏิสัมพันธ์ที่ใช้ในการทดสอบ: (ก) เกมเพนกวิน, (ข) เกมฟุตบอล, (ค) เกมบวกลเลข, (ง) เกมนกบิน, (จ) เกมฮูลาฮูป, (ฉ) เกมข้ามสิ่งกีดขวาง และ (ช) เกมวิ่ง (<http://www.wiifit.com>)

วันทดสอบ เมื่อผู้เข้าร่วมวิจัยมาถึงห้องทดสอบ ให้ทำการนั่งพักเป็นระยะเวลา 10 นาที และทำการวัดชีพจร และความดันโลหิต จากนั้นทำการติดอุปกรณ์วัดคลื่นไฟฟ้าสมองที่ตำแหน่งกึ่งกลางศีรษะ (Cz) ซึ่งอ้างอิงจากการจัดเรียงอิเล็กโทรดมาตรฐานตามระบบ International 10-20 system (Jasper, 1958) (16) และบริเวณติงหูทั้ง 2 ข้างเพื่อใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและเวลาปฏิบัติการตอบสนอง

การวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง ประกอบด้วย การนั่งหลับตาเป็นระยะเวลา 5 นาที บนเก้าอี้ที่นิ่งสบาย จากนั้นทำการวัดเวลาปฏิบัติการตอบสนอง ซึ่งประกอบด้วย เวลาปฏิบัติการตอบสนองต่อการมองเห็น (Visual Reaction Time; VRT) 10 ครั้ง และเวลาปฏิบัติการตอบสนองต่อการได้ยิน (Auditory Reaction Time; ART) 10 ครั้ง โดยทั้ง 2 รูปแบบ จะมีการเตือนล่วงหน้าก่อนการทดสอบ จากนั้นกลุ่มที่เล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (AW และ SW) จะทำการเล่นเกมแบบ

ปฏิสัมพันธ์ที่ระดับความหนักเบาจนถึงปานกลาง เป็นระยะเวลา 20 นาที และกลุ่มควบคุม (AC และ SC) จะทำการนั่งพักบนเก้าอี้ที่นิ่งสบายเป็นระยะเวลา 20 นาที และทุกกลุ่มทำการนั่งพักอีก 3 นาที เพื่อให้ค่าอัตราการเต้นของหัวใจกลับมาที่ 10% ของค่าก่อนการออกกำลังกาย และทำการวัดคลื่นไฟฟ้าสมองและเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็นและการได้ยิน (VRT และ ART) ภายหลังจากทดสอบ ตัวแปรที่ใช้วัด คือ คลื่นไฟฟ้าสมอง ได้แก่ คลื่นธีต้า, คลื่นเบต้า, คลื่นอัลฟา และอัตราส่วนของคลื่นธีต้า/คลื่นเบต้า โดยใช้เทคนิคการตรวจคลื่นไฟฟ้าสมอง และค่าเวลาปฏิกิริยาการตอบสนอง (Reaction time) ต่อการมองเห็น และการได้ยิน

สถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ข้อมูลในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยนำเสนอข้อมูลทั่วไป เช่น อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง อัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ด้วย mean \pm SD และนำเสนอค่าคลื่นไฟฟ้าสมอง และเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองด้วย mean \pm SEM ทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วย Kolmogorov-Sminov test (K-S test) การวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม โดยใช้ Independent t-test และค่าความแตกต่างระหว่างก่อนการออกกำลังกาย (ขณะพัก) และขณะเล่นเกม วิเคราะห์โดยใช้ two-way analysis of variance (ANOVA) with repeated measures กำหนดระดับความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05

ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 ตารางแสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานลักษณะทางกายภาพของกลุ่มตัวอย่าง

ตัวแปร	AG (n=20)		SG (n=20)	
	AW (n=10)	AC (n=10)	SW (n=10)	SC (n=10)
อายุ (ปี)	20.7 \pm 2.2	22.6 \pm 1.8	21.9 \pm 2.7	21.4 \pm 2.2
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	61.3 \pm 11.4	65.4 \pm 9.6	61.7 \pm 8.8	60.7 \pm 13.9
ส่วนสูง (เซนติเมตร)	168.8 \pm 9.9	168.3 \pm 8.5	166.4 \pm 8.7	167.8 \pm 8.4
ดัชนีมวลกาย (กิโลกรัม/เมตร ²)	21.4 \pm 2.1	23.1 \pm 1.8	22.2 \pm 2.3	21.5 \pm 3.6
มวลไขมัน (%)	15.8 \pm 6.0	19.2 \pm 5.8	18.2 \pm 7.0	17.4 \pm 7.3
มวลกล้ามเนื้อ (%)	33.2 \pm 4.0	32.0 \pm 3.9	30.9 \pm 5.3	31.8 \pm 5.2
VO _{2peak} (มล/กก/นาที)	40.8 \pm 3.9	40.1 \pm 4.6	29.6 \pm 3.8 [#]	31.8 \pm 3.3 [#]

* ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม AW และ SW, AW และ SC (p<0.05)

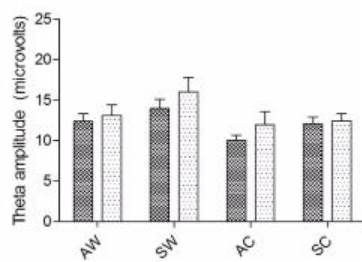
ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม AC และ SW, AC และ SC (p<0.05)

ตารางที่ 1 พบว่า ลักษณะทางกายภาพของผู้เข้าร่วมวิจัย ประกอบด้วย อายุ, น้ำหนัก, ส่วนสูง, ดัชนีมวลกาย, มวลไขมัน, และมวลกล้ามเนื้อ ไม่มีความแตกต่างกันระหว่างกลุ่ม AG และ SG ใดๆก็ตามค่า VO_{2peak} AW เท่ากับ 40.8 \pm 3.9, AC เท่ากับ 40.1 \pm 4.6, SW เท่ากับ 29.6 \pm 3.8 และ SC เท่ากับ 31.8 \pm 3.3 มล/กก/นาที ตามลำดับ ซึ่งมีความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p<0.05)

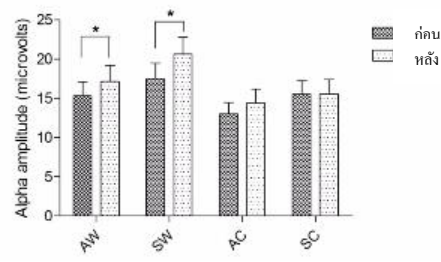
คลื่นไฟฟ้าสมอง

ค่าคลื่นไฟฟ้าสมองก่อนและหลังการทดสอบ

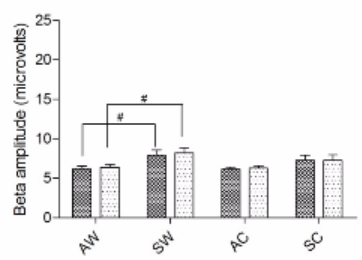
บันทึกค่าคลื่นไฟฟ้าสมอง ก่อนและหลังการทดสอบ เป็นการนั่งหลับตาระยะเวลา 5 นาที (รูปที่ 3) การศึกษานี้วิเคราะห์ amplitude ของคลื่นธีต้า, อัลฟา, เบต้า และสัดส่วนของคลื่นธีต้า/คลื่นเบต้า จากการศึกษาดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ากลุ่ม AW มีค่า amplitude ของคลื่นเบต้าต่ำกว่ากลุ่ม SW ในช่วงก่อนและหลังการทดสอบอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) (ช่วงก่อนการทดสอบ AW = 6.19 ± 0.35 และ SW = 7.93 ± 0.66 ไมโครโวลต์; ช่วงหลังการทดสอบ AW = 6.39 ± 0.36 และ SW = 0.22 ± 0.66 ไมโครโวลต์ ตามลำดับ) ในส่วนของค่า amplitude ของคลื่นอัลฟาในช่วงก่อนการทดสอบทั้ง 4 กลุ่ม เท่ากับ 15.29 ± 1.81 , 17.52 ± 1.94 , 13.01 ± 1.43 และ 5.50 ± 1.72 ไมโครโวลต์ ในกลุ่ม AW, SW, AC และ SC ตามลำดับ ในขณะที่ค่า amplitude ของคลื่นอัลฟาภายหลังการทดสอบ มีค่า 17.11 ± 2.05 , 20.61 ± 2.17 , 14.39 ± 1.78 และ 15.54 ± 1.82 ไมโครโวลต์ ในกลุ่ม AW, SW, AC และ SC ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบคลื่นอัลฟาก่อนและหลังการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์ในกลุ่ม AW และ SW พบว่า ค่า amplitude ของคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นทั้ง 2 กลุ่มภายหลังการออกกำลังกายด้วยการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และกลุ่มควบคุม AC และ SC ไม่พบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นอัลฟาภายหลังการทดสอบ และทั้ง 4 กลุ่มไม่พบการเปลี่ยนแปลงของคลื่นธีต้า, เบต้า, และสัดส่วนของคลื่นธีต้า/คลื่นเบต้า เมื่อเปรียบเทียบก่อนและหลังการทดสอบ



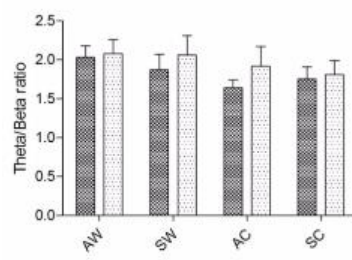
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 3 : รูป ก คลื่นธีต้า, รูป ข คลื่นอัลฟา, รูป ค คลื่นเบต้า และรูป ง สัดส่วนคลื่นธีต้า/เบต้า (ไมโครโวลต์)

ช่วงก่อนและหลังการทดสอบของกลุ่ม AW, SW, AC และ SC ตามลำดับ

* ความแตกต่างระหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ($p < 0.05$)

ความแตกต่างระหว่างกลุ่ม ($p < 0.05$)

เวลาปฏิกิริยาการตอบสนอง (Reaction time)

เวลาปฏิกิริยาการตอบสนอง (Reaction time) ประกอบด้วย เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (Visual Reaction Time; VRT) และเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการได้ยิน (Auditory Reaction Time; ART) ก่อนและหลังการทดสอบ พบว่าเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (VRT) ก่อนและหลังการทดสอบในกลุ่ม AW, SW, AC และ SC พบว่าทั้ง 4 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันในช่วงก่อนการทดสอบ และเมื่อเปรียบเทียบค่า VRT ก่อนและหลังการทดสอบ แสดงให้เห็นว่ากลุ่มที่เล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ทั้งกลุ่ม AW และ SW มีค่า VRT ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ (AW) และกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำและเป็นกลุ่มควบคุม (AC) พบว่า กลุ่ม AW ค่า VRT เร็วกว่ากลุ่ม AC อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.5$) ก่อนและหลังการทดสอบ พบว่า ART ไม่มีความแตกต่างกันเมื่อเทียบก่อนและหลังการทดสอบ แต่พบว่าทั้ง 4 กลุ่มมีค่า ART ลดลงภายหลังการทดสอบ (ตาราง 2)

ตาราง 2: เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (VRT) และเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการได้ยิน (ART)

กลุ่ม	เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (VRT) (วินาที)	
	ก่อน	หลัง
Active Wii (AW)	0.35 ± 0.01	0.32 ± 0.01*
Sedentary Wii (SW)	0.37 ± 0.02	0.35 ± 0.01*
Active Control (AC)	0.37 ± 0.01	0.36 ± 0.01 [#]
Sedentary Control (SC)	0.36 ± 0.01	0.35 ± 0.01

* ความแตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ($p < 0.05$)

[#] ความแตกต่างกันระหว่างกลุ่มที่เล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์และกลุ่มควบคุม ($p < 0.05$)

กลุ่ม	เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการได้ยิน (ART) (วินาที)	
	ก่อน	หลัง
Active Wii (AW)	0.34 ± 0.01	0.33 ± 0.01
Sedentary Wii (SW)	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01
Active Control (AC)	0.37 ± 0.01	0.36 ± 0.01
Sedentary Control (SC)	0.36 ± 0.01	0.34 ± 0.01

* แตกต่างกันระหว่างก่อนและหลังการทดสอบ ($p < 0.05$)

วิจารณ์ผลการศึกษา

คลื่นไฟฟ้าสมอง

การศึกษาในครั้งนี้พบการเปลี่ยนแปลงในสองช่วงความถี่ของคลื่นไฟฟ้าสมอง คือ คลื่นเบต้าและคลื่นอัลฟา โดยคลื่นเบต้า เป็นคลื่นไฟฟ้าสมองที่พบในช่วงที่ร่างกายตื่นตัว และเป็นคลื่นที่มีความถี่เร็วที่สุด การศึกษานี้พบว่า amplitude ของคลื่นเบต้าในกลุ่ม AW มีค่าน้อยกว่ากลุ่ม SW ในช่วงก่อนและหลังการทดสอบ ($P < 0.05$) นอกจากนั้นยังพบว่ากลุ่มที่

ออกกำลังกายเป็นประจำมี amplitude ของคลื่นเบต้าต่ำกว่ากลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกายในขณะพัก โดยคลื่นเบต้าที่วัดจากตำแหน่งกึ่งกลางของสมองจะสัมพันธ์กับการควบคุมการเคลื่อนไหวและการรับรู้จากความรู้สึจากส่วนต่างๆของร่างกาย การลดลงของ amplitude ของคลื่นเบต้าจึงบ่งบอกถึงการทำงานที่ลดลงในสมองส่วน sensori-motor cortices ซึ่งอาจจะอธิบายได้ว่า ผู้ที่ออกกำลังกายเป็นประจำจะมีการปรับตัวของสมองในการรับรู้และควบคุมการเคลื่อนไหว อย่างไรก็ตามเนื่องจากการวิจัยในครั้งนี้ใช้การบันทึกสัญญาณไฟฟ้าสมองจากตำแหน่งอิเล็กโทรดเพียงตำแหน่งเดียว จึงทำให้ไม่สามารถสรุปผลการเปลี่ยนแปลงของคลื่นเบต้าได้ชัดเจน

นอกจากนี้ยังพบว่าภายหลังการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์ทั้งหมด 7 เกม ระยะเวลา 20 นาที มีการเพิ่มขึ้นของคลื่นอัลฟา ($p < 0.05$) ซึ่งคลื่นอัลฟาจะพบได้ในขณะที่มีการพักผ่อน หรือมีความสงบ (15) ในปี 1998 Mechau และคณะ (13) พบว่าการออกกำลังกายที่หนัก ทำให้คลื่นอัลฟาลดลง ซึ่งแตกต่างกับหลายการศึกษาที่พบว่า คลื่นอัลฟาจะเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย ซึ่งบ่งถึงการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองใหญ่ที่ลดลง (11,17,18) โดยการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าที่พบในการวิจัยครั้งนี้จะคล้ายคลึงกับรายงานการวิจัยโดย Kubiz และคณะ (19) ที่พบว่า กลุ่มที่ออกกำลังกายมีการเปลี่ยนแปลงของคลื่นไฟฟ้าสมองสมองในส่วน of คลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

ผลของการศึกษานี้แสดงให้เห็นถึงคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการออกกำลังกายในกลุ่มที่เล่นแบบปฏิสัมพันธ์ (AW และ SW) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Mierau และคณะ (2014) (12) ที่รายงานว่าคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกาย 45 นาที นอกจากนี้การศึกษาของ Fumoto และคณะ ในปี 2010 (10) พบว่า มีการเพิ่มขึ้นของคลื่นอัลฟาระหว่างการออกกำลังกายโดยการปั่นจักรยาน และในปี 2010 การศึกษาของ Timinkul และคณะ (14) พบว่า การทำงานของเซลล์ประสาทในส่วน of สมองใหญ่ขึ้นกับระดับความหนักของการออกกำลังกาย โดยพบว่าคลื่นอัลฟาจะเพิ่มขึ้นหลังจากการปั่นจักรยานที่ระดับความหนักที่ 20 และ 40% ของปริมาตรการใช้ออกซิเจนสูงสุด (VO_{2max}) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายที่ระดับเบาจนถึงระดับปานกลาง แต่ไม่เพิ่มขึ้นภายหลังการออกกำลังกายในระดับหนัก และการศึกษาในปี 2015 St-Louis-Deschenes และคณะ (20) สรุปว่า การออกกำลังกายที่ระดับ sub-maximal จะช่วยให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับการทำงานของเซลล์ประสาทในสมองใหญ่ภายหลังการออกกำลังกาย 30 นาที ซึ่งในการศึกษานี้พบว่าการออกกำลังกายโดยการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์ช่วยทำให้คลื่นอัลฟาเพิ่มขึ้น ซึ่งการศึกษาของ Oda และคณะ ในปี 1999 พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของคลื่นอัลฟาภายหลังการออกกำลังกายในน้ำที่ความหนักระดับเบาจนถึงปานกลาง และยังพบว่าอารมณ์เชิงบวก (มีพลัง) เพิ่มขึ้นและอารมณ์เชิงลบ (ความเครียด และความกังวล) ลดลง (21) ดังนั้นผลการศึกษานี้อาจจะสนับสนุนการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์ที่ความหนักระดับเบา-ปานกลางหลังจากการทำงานหรือการ cool-down เพื่อการผ่อนคลาย

เวลาปฏิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (VRT) และเวลาปฏิริยาการตอบสนองต่อการได้ยิน (ART)

Response time หรือเวลาปฏิริยาการตอบสนอง เป็นสิ่งที่ประเมินระดับสมรรถภาพของนักกีฬา โดยการศึกษาพบว่า ผลของค่า VRT เร็วขึ้นในกลุ่ม AW และ SW ภายหลังการออกกำลังกายโดยการเล่นแบบปฏิสัมพันธ์ ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Malomski และ Szmodis ในปี 1970 (22) พบว่า ค่า Simple visual response time เร็วขึ้นภายหลังการออกกำลังกายแบบ light step-test เมื่อเปรียบเทียบกับค่าก่อนการออกกำลังกาย นอกจากนี้ในปี 2014 Chatzopoulos และคณะ (23) พบว่ามีการพัฒนาของค่า movement time ช่วง upper extremities หรือระยางค์ส่วนบน ภายหลังจากการยืดเหยียดกล้ามเนื้อแบบมีการเคลื่อนไหวร่างกาย (Dynamic stretching) และยิ่งไปกว่านั้น McMorris และคณะ (2000) (24) รายงานว่า การออกกำลังกายที่มีระดับ lactate ในเลือดต่ำสัมพันธ์กับเวลาปฏิริยา

การตอบสนองแบบมีตัวเลือก (Choice Reaction time) ที่สั้นลง ในขณะที่ถ้าร่างกายมีระดับ lactate ที่สูงขึ้นจะทำให้ค่าเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองแบบมีตัวเลือกเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม Poel และคณะ (2008) (25) และ McMorris และ Graydon (1997) (26) สรุปว่า เมื่อออกกำลังกายเลือดจะไหลเวียนไปยังสมองและช่วยขนส่งสารอาหาร (กลูโคสและออกซิเจน) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลต่อ cognitive function ของแต่ละบุคคลได้

นอกจากนี้ VRT ในกลุ่ม AW มีค่าสั้นกว่ากลุ่ม AC ภายหลังจากออกกำลังกายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองที่เร็วขึ้นแสดงให้เห็นถึงการมีสิ่งเร้าในระดับที่เหมาะสม และจะช้าเมื่อมีการผ่อนคลายหรือตื่นเครียดมากเกินไป (Welford, 1980; Broadbent, 1971; Freeman, 1993) (27-29) ยิ่งไปกว่านั้น การศึกษาของ Levitt และ Gutin ในปี 1971 และ Sjoberg ในปี 1975 (30-31) รายงานว่า เมื่อออกกำลังกายที่ระดับอัตราการเต้นของหัวใจประมาณ 115 ครั้งต่อนาที จะทำให้ค่าเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองเร็วที่สุด ซึ่งอาจเป็นตัวบ่งชี้ว่ามีการรบกวนระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลาย (Botwinik et al., 1966) (32) และเมื่อไม่นานมานี้ Garg และคณะ (33) พบว่า เวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็นและการได้ยินจะมีการตอบสนองเร็วในกลุ่มที่ออกกำลังกายเป็นประจำเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ไม่ค่อยออกกำลังกาย นอกจากนี้ยังพบว่าผู้ที่ เป็นโรคอ้วนมีค่า visual and auditory reaction time ที่ช้ากว่ากลุ่มที่ไม่เป็นโรคอ้วน (Simran และคณะ, 2012) (34) การที่มีค่า Reaction time ที่เร็วในกลุ่มที่ออกกำลังกายจะช่วยพัฒนาสมาธิ, การตื่นตัว, การประสานงานร่วมกันของกล้ามเนื้อ และพัฒนาทางด้านความเร็วและความแม่นยำในการทำงาน (McMorris et al., 1997; Grimby and Hannerz, 1968) (26,35) ดังนั้นผลการศึกษานี้พบว่า การเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์จะช่วยส่งผลให้การมีตอบสนองต่อสิ่งเร้าได้ดีกว่ากลุ่มควบคุม อย่างไรก็ตาม ยังไม่ทราบชัดเจนว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงของ movement time หรือ reaction time ที่ช่วยลด response time ภายหลังจากเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์

ข้อจำกัดของการศึกษานี้ คือ เทคนิคที่ใช้ในการวัดคลื่นไฟฟ้าสมอง สามารถวัดได้เพียง 1 ตำแหน่ง (Cz) ซึ่งหากใช้เครื่องมือที่สามารถวัดค่าคลื่นไฟฟ้าสมองได้หลายตำแหน่ง จะทำให้ทราบถึงกลไกการทำงานของสมองได้มากกว่านี้

สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้พบว่าการเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์แบบทันทีนั้นจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของคลื่นอัลฟ่าและการเปลี่ยนแปลงของเวลาปฏิกิริยาการตอบสนองต่อการมองเห็น (WVRT) ลดลงภายหลังจากเล่นเกมแบบปฏิสัมพันธ์ในกลุ่มวัยรุ่น ซึ่งอาจจะส่งผลให้มีการผ่อนคลายและช่วยให้มีสมาธิมากขึ้นได้

REFERENCES

- (1) NSO Available from: <http://service.nso.go.th/nso/web/survey/surpop2-4-15.html>
- (2) News Available from: <http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/536431>
- (3) ACSM Available from: <http://www.acsm.org>
- (4) Lanningham FL, Foster RC, Mc Crady SK, Jensen TB, Mitre N, Levine JA. Activity-promoting video games and increased energy expenditure. *J Pediatr* 2009; 154(6): 819-823.
- (5) Mongkol S. The effect of exercise with Nintendo Wii toward respiratory muscle strength in obese females. *Bull Chiang Mai Assoc Med Sci.* 2016;49(3): 370-376.
- (6) Graves L, Stratton G, Ridgers ND, Cable NT. Energy expenditure in adolescents playing new generation computer games. *Brit J Sport Med.* 2008;42(7): 592-594.

- (7) Haskell WL, Lee IM, Pate RR, Powell KE, Blair SN, Franklin BA, et al. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(8):1423-1434.
- (8) Mongkol S, Pongsuwan P, Methanon P, Numhom R, Thapa T, Putthipiriya S. The effect of exercise with dance game of Nintendo Wii toward body mass index and cardiovascular system in obese women. *Bull Chiang Mai Assoc Med Sci.* 2013; 46(2): 122-130.
- (9) Kherdkarn P, Widjaja W, Siripornpanich V, Ajijmaporn A. The acute effect of exergame on haemodynamics responses in sedentary and active young adults. *Journal of Sports Science and Technology.* 2015; 15(1):121-130.
- (10) Fumoto M, Oshima T, Kamiya K, Kikuchi H, Seki Y, Nakatani Y, et al. Ventral prefrontal cortex and serotonergic system activation during pedaling exercise induces negative mood improvement and increased alpha band in EEG. *Behav Brain Res.* 2010;213(1):1-9.
- (11) Brümmer V, Schneider S, Abel T, Vogt T, Strüder HK. Brain cortical activity is influenced by exercise mode and intensity. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43(10); 1863-1872.
- (12) Mierau A, Hülsdünker T, Mierau J, Hense A, Hense J, Struder HK. Acute exercise induces cortical inhibition and reduces arousal in response to visual stimulation in young children. *Int J Dev Neurosci.* 2014;34:1-8.
- (13) Mechau D, Mücke S, Weiss M, Liesen H. Effect of increasing running velocity on electroencephalogram in a field test. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;78(4):340-345.
- (14) Timinkul A, Omori T WS, Yamada Y, Soya H. High frequency brain waves increase depending upon exercise intensity and associated with cerebral blood volume: A simultaneous NIRS-EEG study. *J Med Tech Phy Ther.* 2010;22(1):82-91.
- (15) Schomer DL. The normal EEG in an adults, in *The Clinical Neurophysiology. Primer.* A.S. Blum and S.B. Rutkove eds., Human Press, Totowa. 2007;57-71.
- (16) Jasper HH. Formal discussion: dendrites. *Electroencephalogr cli Neurophysiol Suppl.* 1958;35(10):42-50.
- (17) Petruzzello SJ, Landers DM. State anxiety reduction and exercise: does hemispheric activation reflect such changes?. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26(8):1028-1035.
- (18) Nishizawa A. and Nishifuji S. Effect of Acute Light Aerobic Exercise and Rest on Electroencephalogram After Mental Tasks. IEE 3rd Global Conference on Consumer Electronics. 2014, 363-367.
- (19) Kubitz K, Pothakos, K. Does aerobic exercise decrease brain activation?. *J Sports Exerc Psychol.* 1997;19:291-301.

- (20) St-Louis-Deschênes M, Moore RD, Elleberg D. The Effect of Acute Aerobic Exercise on Spontaneous Brain Activity in Children. *Pediat Therapeut*. 2015;5(1):1-4.
- (21) Oda S, Matsumoto T, Nakagawa K, Moriya K. Relaxation effects in humans of underwater exercise of moderate intensity. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80(4):253-259.
- (22) Malomsoki J, Szmodis I. Visual response time changes in athletes during physical effort. *Int Z Angew Physiol*. 1970;29(1):65-72.
- (23) Chatzopoulos D, Galazoulas C, Patikas D, Kotzamanidis C. Acute effects of static and dynamic stretching on balance, agility, reaction time and movement time. *J Sports Sci Med*. 2014;13(2):403-409.
- (24) McMorris T. and Graydon J. The effect of incremental exercise on cognitive performance. *Int J Sport Psychol*. 2000;31(1):66-81.
- (25) Poels MM, Ikram MA, Vernooij MW, Krestin GP, Hofman A, Niessen WJ, et al. Total cerebral blood flow in relation to cognitive function: the Rotterdam Scan Study. *J Cereb Blood Flow Metab*. 2008;28(10):1652-1655.
- (26) McMorris T, Graydon J. The effect of exercise on cognitive performance in soccer-specific tests. *J Sports Sci*. 1997;15(5):459-468.
- (27) Welford AT. Choice reaction times: Basic concepts. In Welford AT (Ed.), *Reaction times*. Academic Press, New York, 1980.
- (28) Broadbent DE. *Decision and Stress*. Academic Press, London. 1971.
- (29) Freeman GL. The facilitative and inhibitory effects of muscular tension upon performance. *Am J Psychol*. 1993;26:602-608.
- (30) Levitt S. and Gutin B. Multiple choice reaction time and movement time during physical exertion. *Res Q*. 1971;42:405-410.
- (31) Sjöberg H. Relations between heart rate, reaction speed, and subjective effort at different work loads on a bicycle ergometer. *J Hum Stress*. 1975;1(4):21-27.
- (32) Botwinick J. and Thompson LW. Component of reaction time in relation to age and sex. *J Genet Psychol*. 1966;108:175-183.
- (33) Garg M, Lata H, Walia L, Goyal O. Effect of aerobic exercise on auditory and visual reaction times: a prospective study. *Indian J Physiol Pharmacol*. 2013;57(2):138-145.
- (34) Simran G, Liky W, Vidushi G, Tegbir S. Assessment of auditory and visual reaction time in healthy obese individuals. *J Adv Res Biol Sci*. 2012;5(1):32-36.
- (35) Grimby L, Hannerz J. Recruitment order of motor units on voluntary contraction: changes induced by proprioceptive afferent activity. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 1968; 31:565-573.