Original Article

การศึกษาความสัมพันธ์ของค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอโดยวิธีวัดทางตรงด้วยเครื่องกับวิธีวัดทางอ้อมด้วยภาพ

พรสวรรค์ ธนธรวงศ์[1]*, วราธร ปัญญางาม[2], พิณแข รัชนี[1] และ จิตติมา มะกรูดทอง[1]

[1] ภาควิชาทันตกรรมทั่วไป คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

[2] ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

* Corresponding author: ppeetakul@hotmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอในลักษณะก้มและเงย ที่วัดทางตรงด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ และวัดทางอ้อมจากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอร่วมกับโปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอ **วิธีการศึกษา:** ประชากรเป้าหมายในการศึกษาเป็นนิสิตทันตแพทย์ จำนวน 15 คน ออกแบบการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยกำหนดให้กลุ่มศึกษานั่งทำงานหัตถการกรอฟันกรามถาวรบน ที่หล่อแบบด้วยปูนปลาสเตอร์และยึดติดกับหัวหุ่นจำลองซึ่งติดตั้งบนโต๊ะปฏิบัติการกรอฟัน เก็บข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวของคอในลักษณะก้มและเงย โดยวิธีวัดทางตรงจากเครื่องและวัดทางอ้อมจากภาพ ทำการวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอและบันทึกผลทุก 1 วินาที วิเคราะห์ความแตกต่างของค่าองศาการเคลื่อนไหวที่ได้จากการวัดทั้ง 2 วิธี โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมกับวิธีการบล็อคความคลาดเคลื่อน หาความสัมพันธ์ของวิธีการวัด โดยการพล็อตการกระจายและประมาณค่าเทียบกันโดยใช้สมการถดถอย **ผลการศึกษา:** วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอโดยทางตรงและทางอ้อมให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) แต่มีความสัมพันธ์กันโดยมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน **สรุป:** วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอขณะทำงานทันตกรรมโดยทางอ้อมจากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอร่วมกับโปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอ อาจนำมาใช้ประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวที่ได้จากวิธีวัดโดยทางตรงจากเครื่องได้ โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

คำสำคัญ: องศาการเคลื่อนไหว, เครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ, วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวจากภาพ

Thai Pharm Health Sci J 2009;4(3):302-309[§]

บทนำ

การปฏิบัติงานให้การรักษาทางทันตกรรมของทันตแพทย์เป็นงานหัตถการที่ต้องทำในช่องปากซึ่งมีพื้นที่ขนาดเล็ก การเคลื่อนไหวเพื่อการปฏิบัติงานส่วนใหญ่จึงมักถูกจำกัด บ่อยครั้งต้องเพ่งมองในพื้นที่มืดและแคบ แต่ต้องมีความละเอียดและแม่นยำสูง งานการรักษาบางสาขาต้องใช้แรงมากและอยู่ในท่าใดท่าหนึ่งเป็นเวลานาน หรือต้องทำกิจกรรมเดียวกันซ้ำเป็นเวลานาน วิธีทำงานตามลักษณะดังกล่าวนี้ก่อให้เกิดความเครียดของอวัยวะและกล้ามเนื้อหลายส่วนของร่างกายทันตแพทย์ มีการศึกษาที่พบว่าลักษณะท่าทางการทำงาน (posture) การทำกิจกรรมลักษณะเดียวกันซ้ำอยู่เป็นเวลานาน (task invariability) เป็นปัจจัยเสี่ยงที่สัมพันธ์กับการเกิดความผิดปกติที่คอและแขน (neck and arm disorders)[1] ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาถึงอัตราการเจ็บปวดของกล้ามเนื้อและกระดูก (musculoskeletal pain) ในทันตแพทย์ว่าเป็นปัญหาที่เกิดจากการทำงาน (work-related problem)[2] มีการศึกษาที่ยืนยันว่าลักษณะท่าทางการทำงานต่าง ๆ ของทันตแพทย์ล้วนเป็นปัจจัยเสี่ยงที่ก่อให้เกิดอันตรายจากภาวะการทำงาน (occupational health hazard) และทำให้ทันตแพทย์จำนวนมากต้องยุติงานทันตกรรมก่อนถึงวัยเกษียณ โดยร้อยละ 29.5 มีสาเหตุจากอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อ (musculoskeletal disorders)[3] มีการศึกษารายงานอาการผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อที่เป็นสาเหตุทำให้ทันตแพทย์ยุติงานทันตกรรม โดย

[§] 14th year of Srinakharinwirot Journal of Pharmaceutical Science

แบ่งเป็น การปวดหลังร้อยละ 20 ปวดไหล่และปวดคอร้อยละ 46 และ 47 ตามลำดับ [4] จากการศึกษาสิ่งแวดล้อมการทำงานของทันตานามัยประเทศสหรัฐอเมริกา พบว่าอาการเจ็บปวดเนื่องมาจากความผิดปกติของระบบโครงร่างและกล้ามเนื้อเป็นสาเหตุให้ชั่วโมงการทำงานลดลงร้อยละ 27 และมีการเปลี่ยนสถานที่ทำงานร้อยละ 8.7 [5] นอกจากนี้ การสำรวจในทันตแพทย์ 19 รายและผู้ช่วยทันตแพทย์ 19 ราย พบว่า ร้อยละ 89 ของทันตแพทย์ และร้อยละ 80 ของผู้ช่วยทันตแพทย์มีปัญหาเกี่ยวกับคอ และมากกว่าร้อยละ 50 ของทันตแพทย์และผู้ช่วยทันตแพทย์มีอาการปวดไหล่ทั้งสองข้าง โดยมีตำแหน่งของอาการปวดแบ่งเป็นร้อยละ 54 ที่ไหล่ ร้อยละ 47 ที่คอ และร้อยละ 20 ที่บริเวณหลังส่วนล่าง[6] ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยที่ศึกษาอาการเจ็บป่วยของทันตแพทย์ในเดนมาร์ก พบว่ามีตำแหน่งของอาการปวดที่คอและไหล่ร้อยละ 65 และอาการปวดที่บริเวณหลังส่วนล่างร้อยละ 59[7] ดังนั้น การเฝ้าระวังท่าทางในงานทันตกรรมเพื่อป้องกันการเกิดภาวะเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพสำหรับทันตแพทย์ทั้งที่เกิดปัญหาขึ้นแล้วและยังไม่เกิด จึงเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยลดปัญหาสุขภาพจากการทำงานในวิชาชีพทันตกรรมได้

การเฝ้าระวังท่าทางในการทำงานทันตกรรมควรเริ่มจากการวิเคราะห์ท่าทางในการทำงานเพื่อประเมินความเสี่ยงต่อการเกิดอาการเจ็บป่วยของกล้ามเนื้อและกระดูก วิธีวิเคราะห์ท่าทางในการทำงานสามารถทำได้โดยใช้เครื่องวัดองศาแบบดิจิตอล (Inclinometer) และ เครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ (Goniometer and Torsiometer) โดยติดเครื่องไว้บริเวณข้อต่อที่ต้องการจะวัดการเคลื่อนไหว เครื่องจะแสดงผลการวัดองศาของมุมบริเวณข้อต่อที่เปลี่ยนไปขณะทำงานออกมาทางจอคอมพิวเตอร์ วิธีวิเคราะห์ท่าทางในการทำงานโดยใช้เครื่องดังกล่าวนี้เรียกว่า วิธีวัดทางตรง ส่วนวิธีวัดทางอ้อมสามารถทำได้โดยการบันทึกภาพขณะทำงานด้วยกล้องวิดีโอ วัดองศาของมุมบริเวณข้อต่อที่เปลี่ยนไปขณะทำงานจากภาพที่บันทึกไว้

มีรายงานการศึกษาวิธีวิเคราะห์โดยการวัดทางตรงด้วยเครื่องวัดองศาแบบดิจิตอล เทียบกับการวัดทางอ้อมโดยการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ ซึ่งศึกษาท่าทางการทำงานของคนงานในโรงงานชำแหละไก่ พบว่าค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่วัดได้โดยทางตรงด้วยเครื่องวัดองศาแบบดิจิตอลแตกต่างจากค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่วัดทางอ้อมโดยการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) โดยมีข้อสังเกตว่าเนื่องจากวิธีวัดทางตรงกับวิธีวัดทางอ้อมนั้นมีการกำหนดจุดอ้างอิงในการวัดที่แตกต่างกัน แต่ข้อมูลจากการวัดทั้ง 2 วิธี จะช่วยสนับสนุนซึ่งกันและกัน

ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ของวิธีวิเคราะห์ท่าทางในการทำงานทันตกรรมโดยการวัดทางตรงด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อเทียบกับการวัดทางอ้อมโดยการบันทึกภาพด้วยกล้องวิดีโอร่วมกับโปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอ (MB-Ruler®) เพื่อบ่งชี้ความเสี่ยงต่อความเจ็บป่วยของกล้ามเนื้อและกระดูกของผู้ประกอบวิชาชีพทันตกรรม งานวิจัยนี้ผ่านความเห็นชอบจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมในการทำวิจัย คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ และตัวอย่างผู้เข้าทดลองได้ลงนามให้ความยินยอมร่วมการวิจัย

วิธีการศึกษา

ประชากรเป้าหมายในการศึกษานี้เป็นนิสิตทันตแพทย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ชั้นปีที่ 5 จำนวน 15 คน จากการสุ่มอย่างง่าย ออกแบบการศึกษาเป็นการวิจัยเชิงทดลอง (experimental design) เพื่อเก็บข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวของคอในลักษณะก้มและเงย กำหนดให้ตัวอย่างนั่งทำงานหัตถการกรอฟันกรามถาวรซี่ที่ 1 บนขวา (permanent maxillary right first molar) ให้เป็นลักษณะโพรงฟันแบบ 2 ด้านประชิดใกล้กลาง [cavity class II (OM)] ที่หล่อแบบด้วยปูนปลาสเตอร์และยึดติดกับหัวหุ่นจำลอง (Phantom head) ซึ่งติดตั้งบนโต๊ะปฏิบัติการกรอฟัน โดยใช้เข็มกรอฟันหัวเพชรรูปทรงกระบอกชนิดกรอเร็ว (Aerotor diamond cylinder bur)

การเก็บ**ข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวของคอ**จะดำเนินการพร้อมกันทั้งโดยวิธีวัดทางตรงและทางอ้อม การเก็บข้อมูลโดย**วิธีวัดทางตรง**ดำเนินการโดยใช้เครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ รุ่น SG110 เครื่องหมายการค้า Biometrics® ผลิตในประเทศอังกฤษ ติดเครื่องตรวจจับ (sensor) ของเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ แนบไปกับแนวกระดูกสันหลังส่วนคอของนิสิตทันตแพทย์ด้วยเทปกาวโดยให้กึ่งกลางของเครื่องตรวจจับอยู่ที่ตำแหน่งกระดูกสันหลังส่วนคอข้อที่ 7 (C7) เมื่อนิสิตทันตแพทย์เริ่มปฏิบัติงานที่กำหนด เครื่องตรวจจับจะเริ่มส่งข้อมูลไปยังเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ และบันทึกข้อมูลไว้ จนกระทั่งนิสิตทันตแพทย์ปฏิบัติงานเสร็จสิ้นลง จึงนำข้อมูลจากเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ มาประเมินผลในเครื่องคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมดิจิตอล (data logger) ที่มีมาพร้อมกับเครื่อง ทำการประเมินผลทุก ๆ 1 วินาที บันทึกข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวที่ประเมินได้ไว้ ส่วนการเก็บข้อมูลโดย**วิธีวัดทางอ้อม** ดำเนินการโดยใช้กล้องบันทึกภาพวิดีโอรุ่น GR-D770

เครื่องหมายการค้า JVC ผลิตในประเทศไทย โดยติดตั้งเครื่องบันทึกภาพวิดีโอไว้ที่ตำแหน่ง 3 นาฬิกาของนิสิตทันตแพทย์ที่ทำงานกรอฟัน เครื่องบันทึกภาพวิดีโอจะเริ่มบันทึกภาพเมื่อนิสิตเริ่มปฏิบัติงานและยุติการบันทึกภาพเมื่อปฏิบัติงานแล้วเสร็จ จากนั้นนำภาพที่บันทึกไว้มาวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยใช้โปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอ (รูปที่ 1) ซึ่งวัดองศาการเคลื่อนไหวและบันทึกผลทุก 1 วินาที โดยใช้ผู้วัด 2 คนที่ได้ปรับมาตรฐานให้ตรงกัน ใช้ค่าเฉลี่ยของมุมองศาการเคลื่อนไหวที่บันทึกไว้ องศาการเคลื่อนไหวที่วัดได้ทั้งจากเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อและจากภาพที่บันทึกไว้โดยใช้โปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอ จะให้ค่าเป็นบวกเมื่อการเคลื่อนไหวเป็นลักษณะการกัม และให้ค่าเป็นลบเมื่อการเคลื่อนไหวเป็นลักษณะการเงย

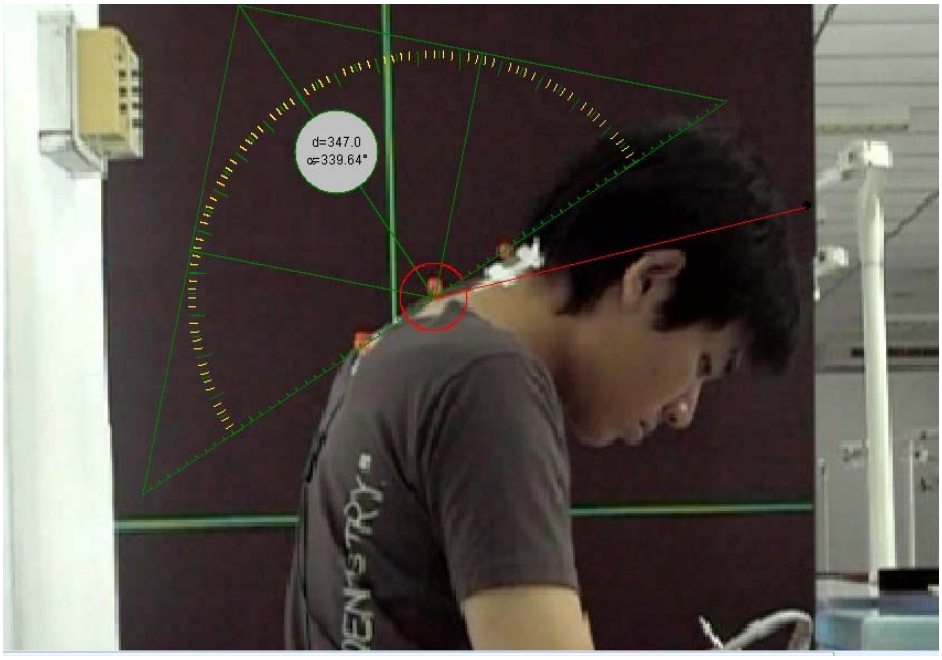
จำนวนการวัดซ้ำสำหรับตัวอย่างแต่ละคน (replicates) จะแตกต่างกันตามเวลาที่ตัวอย่างแต่ละคนใช้ในการกรอฟัน โดยข้อมูลในการวัดซ้ำแต่ละครั้งจะได้จากองศาการเคลื่อนไหวของคอในทุก ๆ วินาที เช่น นิสิตที่เป็นตัวอย่างที่ 1 ดังในตารางที่ 1 ใช้เวลาในการกรอฟัน 250 วินาที จะมีจำนวนการวัดซ้ำที่ถูกบันทึก 250 ครั้ง

การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอทั้งจากการวัดทางตรงและการวัดทางอ้อมของนิสิตทุกคนมารวมกัน (pooled data) แล้วทดสอบว่าข้อมูลแต่ละค่าแตกต่างกันเนื่องจากวิธีการวัด 2 วิธีที่แตกต่างกันหรือไม่ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแปรปรวน (analysis of variance; ANOVA)[8] ภายใต้ระดับนัยสำคัญ 0.05 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากนิสิตแต่ละรายมีลักษณะท่าทางการทำงานที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจทำให้ค่าองศาที่วัดได้ (ไม่ว่าโดยวิธีใด) แตกต่างจากนิสิตคนอื่น ดังนั้นเพื่อให้แน่ใจว่าค่าองศาแต่ละค่าที่แตกต่างกันนั้น เป็นเพราะปัจจัยเรื่องวิธีการวัดที่แตกต่างกัน หรือเพราะปัจจัยตัวนิสิตที่แตกต่างกัน การวิเคราะห์ความแปรปรวนจึงพิจารณาผลของความต่างของนิสิตแต่ละรายด้วย ซึ่งผลการวิเคราะห์จะช่วยให้สามารถจำแนกได้อย่างชัดเจนว่า ความต่างของค่าแต่ละค่านั้นเป็นผลจากความต่างของวิธีการวัดมากน้อยเพียงใด

ผลการศึกษา

ผลการบันทึกข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวของคอทุกวินาทีสำหรับตัวอย่างแต่ละคน จำนวน 15 คน โดยวิธีวัดทางตรงและวัดทางอ้อม พบมีจำนวนการวัดซ้ำสำหรับตัวอย่างนิสิตแต่ละราย (replicates) ที่น้อยที่สุดคือ 159 ครั้ง และที่มากที่สุด 478 ครั้ง โดยรายละเอียดค่าสถิติขององศาการเคลื่อนไหวของคอสำหรับตัวอย่างแต่ละคนโดยวิธีวัดทางตรงและวัดทางอ้อมแสดงในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 จำนวนครั้งรวมของการวัดโดยวิธีวัดทางตรงและวัดทางอ้อมอย่างละ 4,215 ครั้ง รวมเป็นข้อมูลค่าองศาการเคลื่อนไหวทั้งสิ้น (pooled data) 8,430 ครั้ง



รูปที่ 1 วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอโดยใช้โปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอจากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอ

ตารางที่ 1 ค่าสถิติขององศาการเคลื่อนไหวของคอโดย**วิธีวัดทางตรง**ด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อของตัวอย่างแต่ละราย

Sample	Replicates (n)	Mean	SD	Median	Range	Skewness	Kurtosis
1	250	18.189	2.053	18.680	13.680	-1.53	4.11
2	391	9.783	3.813	9.950	25.290	-1.13	3.64
3	266	9.675	1.774	10.080	7.420	-1.09	0.25
4	293	18.584	6.389	21.110	20.210	-0.25	-1.68
5	287	10.942	4.444	10.850	36.680	-0.67	3.28
6	313	10.810	3.375	11.340	22.060	-1.65	4.63
7	250	5.157	1.824	5.040	10.260	0.13	-0.42
8	262	6.022	2.304	6.440	15.670	-1.39	4.15
9	299	20.907	4.865	21.960	29.080	-0.70	0.77
10	159	6.108	2.714	7.200	14.800	-0.54	0.00
11	272	1.416	4.914	2.380	25.840	-1.72	3.27
12	242	10.851	2.542	10.710	31.730	-4.30	44.89
13	266	-2.671	3.614	-2.070	21.240	-1.88	4.60
14	187	1.184	1.730	1.130	8.100	-0.04	-0.45
15	478	5.321	5.412	2.750	20.750	0.47	-1.12
รวม	**4,215**						

ตารางที่ 2 ค่าสถิติขององศาการเคลื่อนไหวของคอโดย**วิธีวัดทางอ้อม**จากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอและใช้ โปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอของตัวอย่างแต่ละราย

Sample	Replicates (n)	Mean	SD	Median	Range	Skewness	Kurtosis
1	250	15.563	2.831	15.700	16.770	-0.56	0.93
2	391	12.094	4.290	11.930	30.340	-0.21	1.65
3	266	11.159	3.963	11.255	19.640	-0.15	0.09
4	293	11.287	3.821	11.590	18.980	-0.10	-0.47
5	287	7.613	3.959	6.820	21.690	0.57	-0.02
6	313	11.978	4.700	12.190	27.390	0.25	-0.39
7	250	5.596	3.672	5.400	14.700	0.15	-0.72
8	262	9.429	4.429	9.860	18.730	-0.17	-0.67
9	299	19.701	5.449	19.220	33.950	0.04	-0.15
10	159	4.939	4.582	5.430	25.110	-0.40	0.32
11	272	1.238	5.386	1.655	28.290	-0.42	0.09
12	242	16.669	5.051	18.000	27.990	-1.11	1.45
13	266	2.891	6.450	3.340	33.040	-0.33	-0.06
14	187	9.236	4.392	8.440	19.760	0.33	-0.75
15	478	6.294	11.643	5.420	49.010	0.06	-1.04
รวม	**4,215**						

ในการวิเคราะห์ ANOVA ข้อมูลองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีการวัดแต่ละวิธีจะสามารถเขียนในรูปของแบบจำลองเชิงเส้น (Linear Model) ดังนี้

$$y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{ij} \ldots (1)$$

เมื่อ:

y_{ij} แทน องศาการเคลื่อนไหวที่ได้จากการวัดทั้งหมด

μ แทนค่าเฉลี่ยทั้งหมด

τ_i แทนผลจากวิธีวัด ที่ i เมื่อ i = 1, 2 (วัดทางตรงและทางอ้อม)

β_j แทนผลจากปัจจัยตัวนิสิตที่แตกต่างกัน (j) เมื่อ j = 1, 2, …, 15

ε_{ij} แทน ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ

และตั้งสมมติฐานในการพิสูจน์ ดังนี้

H_0: $\tau_1 = \tau_2 = 0$ ... (2)

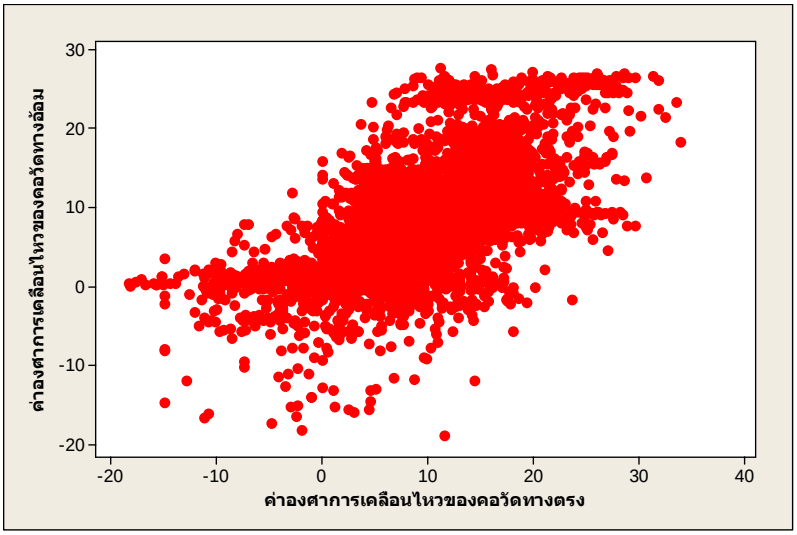
H_1: $\tau_1 \neq \tau_2 \neq 0$ ... (3)

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยวิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอ พบว่าวิธีการวัดที่แตกต่างกันให้ผลที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($F = 42.93$, $P < 0.001$) (ตารางที่ 3) ดังนั้นจึงปฏิเสธสมมติฐานหลักในสมการที่ (2) กล่าวคือ วิธีการวัดที่แตกต่างกันให้ผลการวัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ ในการทดสอบความเหมาะสมของข้อมูลตามข้อตกลงเบื้องต้น (assumption) สำหรับการวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยใช้การวิเคราะห์เศษเหลือ (residual analysis) (ไม่แสดงรายละเอียดของการทดสอบ) พบว่าเศษเหลือมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ มีการกระจายของเศษเหลือในแต่ละย่านของข้อมูลอย่างสุ่มรอบศูนย์ และไม่มีเศษเหลือที่หลุดออกจากกลุ่มเศษเหลืออื่น ๆ (outliers) แสดงว่าความแปรปรวนคงที่ และสิ่งรบกวน (noise) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ การกระจายของเศษเหลือไม่มีลักษณะของแนวโน้ม แสดงว่าข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน (independent) ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ผลการพิสูจน์สมมติฐานโดยวิธีวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เชื่อถือได้ จึงสรุปว่าวิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวที่แตกต่างกันจะให้ผลแตกต่างกัน

เมื่อพิจารณาพล็อตการกระจาย (scatter plots) ของค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอระหว่างการวัด 2 วิธี (รูปที่ 3) พบว่าความสัมพันธ์ของวิธีการวัดทั้ง 2 มีแนวโน้มที่จะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ดังนั้นค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีการวัดทางอ้อม จึงอาจนำมาใช้ในการประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีการวัดโดยทางตรง ซึ่งเมื่อทำการทดลองสร้างสมการถดถอย (regression) โดยถ้าให้ y เป็นตัวแปรตอบสนอง (response) ที่แทนค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีการวัดโดยทางตรง และ x เป็นตัวทำนาย (predictor) ที่แทนค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีการวัดโดยทางอ้อม แล้วได้สมการถดถอยในรูปสมการเส้นตรง (linear) สมการควอดราติก (quadratic) และสมการคิวบิค (cubic) ตามลำดับ (ตารางที่ 4) จากผลการทดสอบสัมประสิทธิ์สมการถดถอยด้วยตัวสถิติ t และการทดสอบสมการถดถอยด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของปัจจัยวิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอ

	DF	SS	MS	F	*P*-value
วิธีการวัด	1	1199	1199	42.93	< 0.001
นิสิตทันตแพทย์	14	245714	17551	628.20	< 0.001
Error	8414	235073	28		
Total	8429	481987			



รูปที่ 3 รูปแบบความสัมพันธ์ของวิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอโดยทางตรงกับโดยทางอ้อม

พบว่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอยของสมการถดถอยทั้ง 3 ลักษณะมีนัยสำคัญ (t-test, $P < 0.001$ สำหรับทุกสัมประสิทธิ์) และตัวแบบสมการถดถอยทั้งหมดสามารถใช้อธิบายข้อมูลได้อย่างมีนัยสำคัญ (ANOVA, $P < 0.001$ สำหรับทุกสมการ) อย่างไรก็ตาม แม้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจแบบปรับปรุง (adjusted coefficient of determination; adj. R^2) ของสมการถดถอยในรูปสมการคิวบิคจะมีค่าสูงสุด (0.416 หรือ 41.6%) แต่เนื่องจากความแตกต่างของค่าดังกล่าวระหว่างสามสมการมีน้อยมาก ในที่นี้จึงเห็นว่าการใช้สมการถดถอยในรูปเส้นตรงน่าเหมาะสมกว่า เนื่องจากง่ายต่อการคำนวณมากกว่าสมการถดถอยอีก 2 ลักษณะ ดังนั้นจะได้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย (simple linear regression) สำหรับประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอจากวิธีวัดโดยทางตรงด้วยองศาการเคลื่อนไหวของคอจากวิธีวัดโดยทางอ้อม ดังนี้

$$y = 3.98 + 0.642\ x \quad \ldots (4)$$

และเมื่อตรวจสอบความเหมาะสมของสมการที่ (4) โดยวิธีการวิเคราะห์เศษเหลือ พบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ มีความแปรปรวนคงที่ และมีความเป็นอิสระต่อกัน (ไม่แสดงรายละเอียดของการทดสอบ) ดังนั้นการนำสมการถดถอยเส้นตรงดังกล่าวไปใช้ประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอจากวิธีวัดโดยทางตรงด้วยค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอจากวิธีวัดโดยทางอ้อม จึงสามารถทำได้ด้วยความเชื่อมั่นสูง

อภิปรายผลการศึกษา

ในการวิเคราะห์ท่าทางการทำงาน หากไม่ต้องการความแม่นยำมากมักประเมินเป็นช่วงการเคลื่อนไหว เช่น ท่ากัมคอ 0 - 30 องศา และ 30 - 60 องศา เป็นต้น วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยทางอ้อมจากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอ จึงเป็นทางเลือกหนึ่งซึ่งอาจให้ความถูกต้องได้สูงพอที่จะใช้เป็นมาตรการเพื่อบ่งชี้แนวโน้มความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการทำงานบางลักษณะ และมีการนำมาใช้ประเมินท่าทางการทำงานอย่างแพร่หลาย Marklin และ Cherney[9] ได้วิเคราะห์ท่าทางการทำงานของทันตแพทย์และทันตานามัยโดยใช้ภาพถ่ายวิดีโอ พบว่าทันตแพทย์เอียงคอไม่น้อยกว่า 30 องศา ประมาณร้อยละ 85 ของระยะเวลาทำการรักษา ท่ายกไหล่ไม่น้อยกว่า 30 องศาประมาณร้อยละ 85 และท่าโน้มลำตัวไปด้านหน้าประมาณร้อยละ 60 ของระยะเวลาทำการรักษา และในทันตานามัยได้ผลการศึกษาคล้ายกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีวัดทางอ้อมนอกจากจะง่ายในทางปฏิบัติ ยังสามารถประเมินได้หลายข้อต่อในคราวเดียวกัน

ภาพที่ได้จากวิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวจากภาพถ่ายวิดีโอเป็นภาพ 2 มิติ ดังนั้นตำแหน่งการวางกล้องควรตั้งฉากกับตำแหน่งที่วัด เพื่อไม่ให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่ามุมที่ได้ นอกจากนี้ ข้อต่อในร่างกายมนุษย์มีการเคลื่อนไหวได้หลายแกน เช่น ร่างกายส่วนคอสามารถก้ม-เงย เอียงซ้าย-ขวา และหันซ้าย-ขวา เป็นต้น แต่จากภาพถ่ายวิดีโอซึ่งเป็น 2 มิติจะวัดได้เที่ยงตรงเพียง 1 แกนที่ตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนไหว ในส่วนแกนอื่นจะคลาดเคลื่อน ดังนั้นการนำวิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวจากภาพถ่ายวิดีโอไปใช้ ให้พิจารณาตำแหน่งกล้องที่ใช้บันทึกภาพในการวิเคราะห์ท่าทางการทำงานโดยคำนึงถึงข้อต่อนั้นว่าเคลื่อนไหวในแกนใดที่จะมีผลกระทบมากที่สุดที่ก่อให้เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก

ตารางที่ 4 สมการถดถอยสำหรับประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีวัดทางตรงโดยค่าองศาการเคลื่อนไหวของคอที่ได้จากวิธีวัดทางอ้อม

สมการถดถอย	T-test สำหรับแต่ละตัวแปร		*P*-value	Adjusted R^2
	สัมประสิทธิ์ของตัวแปร	*P*-Value	(ANOVA)	
สมการเส้นตรง (Linear)	ค่าคงที่	< 0.001	< 0.001	0.398
$y = 3.98 + 0.642\ x$	x	< 0.001		
สมการควอดราติก (Quadratic)	ค่าคงที่	< 0.001	< 0.001	0.402
$y = 3.77 + 0.753\ x - 0.00568\ x^2$	x	< 0.001		
	x^2	< 0.001		
สมการคิวบิค (Cubic)	ค่าคงที่	< 0.001	< 0.001	0.416
$y = 2.96 + 0.731\ x + 0.0170\ x^2 - 0.000909\ x^3$	x	< 0.001		
	x^2	< 0.001		
	x^3	< 0.001		

ปัจจุบันมีกล้องบันทึกภาพวิดีโอโดยใช้เทคโนโลยี 3 มิติ (automatic motion analysis) เพื่อแก้ข้อบกพร่องของภาพ 2 มิติ แต่ในการวิเคราะห์ท่าทางการทำงานทันตกรรมนั้น เป็นท่าทางที่คงที่และนิ่ง ดังนั้นกล้องบันทึกภาพวิดีโอ 3 มิติจึงมีค่าใช้จ่ายสูงเกินความจำเป็น สำหรับเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ แม้เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดมุมข้อต่อของร่างกายและเหมาะที่จะใช้วิเคราะห์ข้อมือ มือ เนื่องจากสามารถวัดความเร็ว ความเร่งขณะเคลื่อนไหวได้ งานทันตกรรมที่มีการเคลื่อนไหวลักษณะดังกล่าว เช่น การขูดหินน้ำลายเกลารากฟัน แต่ในทางปฏิบัติ ถ้าใช้เครื่องมือดังกล่าวมาวัดองศาการเคลื่อนไหวที่ข้อมือ กลับจะมีผลขัดขวางการเคลื่อนไหวขณะทำงานการรักษาผู้ป่วยทันตกรรม

อย่างไรก็ตาม ต้องยอมรับว่าการวัดองศาการเคลื่อนไหวโดยทางตรงด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ จะให้ค่าที่แม่นยำมากสำหรับใช้ในการประเมินท่าทางการทำงาน แต่ปัญหาค่าใช้จ่ายเพราะเครื่องมือมีราคาสูง และวิธีการใช้เครื่องที่มีความซับซ้อนและเป็นอุปสรรคในการเคลื่อนไหวขณะทำงานการรักษาทางทันตกรรมบางสาขางาน การศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของวิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อซึ่งเป็นการวัดโดยทางตรง และวิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวจากภาพถ่ายวิดีโอซึ่งเป็นวิธีวัดโดยทางอ้อม เพื่อหาวิธีการที่สามารถทดแทนวิธีวัดทางตรง โดยเลือกทำการศึกษาข้อต่อที่คอ กำหนดแกนที่ต้องการประเมินคือก้ม-เงย ซึ่งเป็นท่าที่พบเป็นปัญหาได้บ่อยในขณะปฏิบัติงานทันตกรรม และมักส่งผลให้เกิดอาการผิดปกติของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก

การค้นหาวิธีวิเคราะห์ท่าทางการทำงานทันตกรรมเพื่อบ่งชี้ความเสี่ยงที่จะเกิดอันตรายจากการทำงาน พบว่าค่าองศาการเคลื่อนไหวขณะทำงานที่วัดได้โดยทางตรงด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อ ให้ผลที่แตกต่างจากค่าองศาการเคลื่อนไหวที่วัดโดยทางอ้อมด้วยการบันทึกการสังเกตด้วยภาพถ่ายอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) ซึ่งเป็นไปดังที่คาดไว้เพราะวิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวที่นำมาทดลองนั้นทั้ง 2 วิธีมีมาตรฐานความละเอียดแม่นยำที่แตกต่างกันอยู่แล้ว แต่ผลการศึกษาที่พบมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกัน ถือว่ามีประโยชน์ในแง่การนำวิธีวัดทางอ้อมมาใช้ทดแทนวิธีวัดทางตรง เพื่อการเฝ้าระวังท่าทางการทำงานทันตกรรมเป็นการแก้ปัญหาข้อจำกัดทั้งด้านค่าใช้จ่าย และความสะดวกในการใช้งาน ดังนั้นการเฝ้าระวังท่าทางในการทำงานทันตกรรมเพื่อป้องกันการเกิดภาวะเสี่ยงต่อปัญหาสุขภาพสำหรับทันตแพทย์ทั้งที่เกิดปัญหาขึ้นแล้วและยังไม่เกิด จึงมีโอกาสเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ ยิ่งกว่านั้น จากการวิเคราะห์สมการถดถอยเชิงเส้น ยังพบว่าค่าองศาการเคลื่อนไหวที่ได้จากการวัดจากภาพที่บันทึกด้วยกล้องวิดีโอร่วมกับการใช้โปรแกรมไม้บรรทัดวัดมุมหน้าจอของ สามารถประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวขณะทำงานเทียบกับวิธีวัดด้วยเครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อได้โดยการวัดข้อมูลค่าองศาการเคลื่อนไหวไว้ แล้วแทนค่าที่ได้ลงในสมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย $y = 3.98 + 0.642 x$

สรุปผลการศึกษา

วิธีการวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอโดยทางตรงและทางอ้อมให้ผลแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.001$) แต่ความสัมพันธ์ของวิธีวัดทั้ง 2 แบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน วิธีวัดองศาการเคลื่อนไหวของคอขณะทำงานโดยทางอ้อมด้วยภาพที่บันทึกจากกล้องวิดีโออาจนำมาใช้ในการประมาณค่าองศาการเคลื่อนไหวจากวิธีวัดโดยทางตรงได้โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นอย่างง่าย

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณคณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องวัดมุมแบบเฉพาะสำหรับข้อต่อในงานวิจัยนี้ ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์วรรธนะ ชลายนเดชะที่กรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำ และขอขอบคุณ นทพ.โอภาศ วิวัฒน์วรกุล นทพ.อภิญญา เมฆารักษ์ภิญโญ และ นทพ.กุลธิรา เจียรวุฒิสาร และนิสิตทันตแพทย์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Kilbom s, Armstrong T, Buckle P, et al. Musculoskeletal Disorders: Work-related Risk Factors and Prevention. *Int J Occup Environ Health* 1996;2(3):239-246.
2. Lehto TU, Helenius HY, Alaranta HT. Musculoskeletal symptoms of dentists assessed by a multidisciplinary approach. *Community Dent Oral Epidemiol* 1991;19(1):38-44.
3. Burke FJ, Main JR, Freeman R. The practice of dentistry: an assessment of reasons for premature retirement. *Br Dent J* 1997;182(7):250-254.
4. Yee T, Crawford L, Harber P. Work environment of dental hygienists. *J Occup Environ Med* 2005;47(6):633-639.

5. Finsen L, Christensen H, Bakke M. Musculoskeletal disorders among dentists and variation in dental work. *Appl Ergon* 1998;29(2):119-125.
6. Nguyen BD. Musculoskeletal problems and occupational stress among dentists and dental assistants in a dental clinic. Poster session 3. *Occup Environ Med* 2004:3-4.
7. Juul-Kristensen B, Hansson GA, Fallentin N, Andersen JH, Ekdahl C. Assessment of work postures and movements using a video-based observation method and direct technical measurements. *Appl Ergon* 2001;32(5):517-524.
8. Montgomery DC. Design and Analysis of Experiments. USA. John Wiley & Sons, 1997.
9. Marklin RW, Cherney K. Working postures of dentists and dental hygienists. *J Calif Dent Assoc* 2005;33(2):133-136.