Chula Med J Vol. 57 No. 2 March - April 2013

การประดิษฐ์แบบจำลองสำหรับการศึกษาความละเอียดในการประเมินค่าความดันลูกตาโดยการคลำ

ศิริธร โอมอภิญญาน*
อภิวัฒน์ มาวิจักขณ์** วสันต์ สันติภาษ***

Omapinyan S, Mavichak A, Santipas W. A new simulation model of intraocular pressure estimation by finger palpation. Chula Med J 2013 Mar – Apr; 57(2): 121 - 29

Measurement of intraocular pressure is necessary in a general eye examination. The standard method of intraocular pressure measurement is to use Goldman applanation tonometer. It works by flattening the surface of the cornea and then measuring the force required in millimeters of mercury. The limitation of this approach is that it is not applicable to patients with corneal surface problems or patients with eye injuries. Also, there are limitations such as lack of skill and equipment.

Therefore, in a certain situation it can be extremely useful if one can estimate the intraocular pressure by palpation with fingers. This method is simple, easy, less dangerous, and yet requires no equipment. The accuracy of pressure estimated by using fingers is however controversial. And the resolution of finger palpation is still unknown. To find the resolution of he palpation method, it is best and most ethical to simulate the experience in a mannequin as opposed to in patients. After the resolution is found, then the accuracy can be tested in vivo. We report a design of such instrument.

Keywords: *Tactile ocular tension, intraocular pressure palpation, digital palpation intraocular pressure, intraocular pressure, fingers, palpation.*

Reprint request: Omapinyan S. Department of Ophthalmology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Bangkok 10330, Thailand.

Received for publication. September 6, 2012.

* ภาควิชาจักษุวิทยา คณะแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
** ศูนย์จักษุวิทยาเฉพาะทาง เดอะเวิลด์ เมดิคอลเซนเตอร์
*** ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ศิริธร โอมอภิญญาน, อภิวัฒน์ มาวิจักขณ์, วสันต์ สันติภาษ. การประดิษฐ์แบบจำลองสำหรับการศึกษาความละเอียดในการวัดความดันลูกตาโดยการคลำ. จุฬาลงกรณ์เวชสาร 2556 มี.ค. – เม.ย.;57(3): 121 – 29

การวัดความดันลูกตา เป็นสิ่งที่จำเป็นในการตรวจตาทั่วไป ตามมาตรฐานการวัดความลูกดันตาจะใช้เครื่องมือ Goldman applanation tonometer ซึ่งเป็นการวัดความดันลูกตาโดยใช้เครื่องมือกดลงบนกระจกตาจนทำให้ผิวของกระจกตาราบในระดับหนึ่งแล้ววัดค่าความดันลูกตาในหน่วยมิลลิเมตรปรอท ข้อจำกัดของวิธีนี้คือ ผู้ป่วยที่มีปัญหาที่ผิวกระจกตา หรือผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุต่อดวงตา นอกจากนี้ ยังมีความจำกัดด้านทรัพยากรบุคคลที่มีความชำนาญด้านการตรวจ อีกทั้งตัวอุปกรณ์เองและสถานที่ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องประมาณค่าความดันตาด้วยการคลำด้วยนิ้วมือในบางครั้ง ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และเกิดอันตรายน้อย เนื่องจากวิธีการประมาณค่าความดันลูกตาด้วยนิ้วมือนั้น ยังมีความไม่แน่นอนในการคลำ และยังไม่ทราบถึงค่าความละเอียดที่บอกความสามารถในการคลำด้วยนิ้วมือ การทดลองที่จะหาค่าความละเอียดของการประมาณค่าความดันลูกตาด้วยนิ้วมือในผู้ป่วยจริงนั้นอาจทำให้เกิดปัจจัยรบกวนต่าง ๆ ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทดลองในดวงตาจำลองก่อน จึงเป็นที่มาของการผลิตอุปกรณ์แบบจำลองเพื่อการประเมินค่าความดันลูกตาชนิดนี้

คำสำคัญ : *การประเมินความดันลูกตาโดยใช้นิ้วมือคลำ, ความดันลูกตา, นิ้วมือ, คลำ.*

การวัดความดันลูกตา เป็นสิ่งจำเป็นในการตรวจร่างกายตาทั่วไป คนที่มีความดันตาที่สูงกว่าระดับปกติเป็นปัจจัยเสี่ยงที่สำคัญต่อการเกิดต้อหินซึ่งทำให้เกิดภาวะตาบอดถาวรก่อให้เกิดความทุพพลภาพและภาระต่อทั้งตัวผู้ป่วยเองคนในครอบครัวและสังคมโดยรอบ

การวัดความดันตาโดยทั่วไปจะใช้เครื่องวัดที่เป็นมาตรฐานซึ่งเรียกว่า Goldman applanation tonometer ซึ่งเป็นการวัดความดันลูกตาโดยใช้ลักษณะการกดลงบนกระจกตาจนทำให้ผิวของกระจกตาราบ ในระดับหนึ่งแล้ววัดค่าแรงดันที่ได้เป็นหน่วยมิลลิเมตรปรอท ซึ่งเครื่องวัดความดันชนิดนี้จะติดอยู่กับเครื่อง slit lamp จึงไม่สามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ได้อย่างสะดวก นอกจากนี้ ยังต้องใช้ความชำนาญในการวัดจากบุคคลที่ได้รับการฝึกฝนมาเป็นอย่างดีอีกด้วย

นอกเหนือจากวิธี Goldman applanation tonometer ซึ่งถือเป็น gold standard [1] ในการวัดความดันตาแล้ว ต่อมาได้มีการคิดค้นเครื่องมือและวิธีการใหม่ ๆ ที่ใช้วัดความดันตา เช่น Ocular response analyzer, Dynamic contour tonometry และ Rebound tonometry[2] แต่เครื่องมือเหล่านี้ก็ยังมีราคาที่สูง และมีจำนวนน้อย ไม่เพียงพอต่อการตรวจคัดกรองผู้ป่วยในหน่วยตรวจสุขภาพทั่วไป

การประเมินค่าความดันตาด้วยการคลำลูกตาบริเวณหนังตาบน เป็นวิธีปฏิบัติที่มีมานานแล้ว เป็นวิธีที่ง่าย สะดวก รวดเร็ว ก่อให้เกิดอันตรายได้น้อย สามารถทำได้แม้ในที่ที่ขาดแคลนอุปกรณ์ และยังสามารถทำได้ในกรณีผู้ป่วยที่มีภาวะบาดเจ็บต่อลูกตา แต่ไม่สามารถให้ค่าแรงดันที่แน่นอนได้อีกทั้งความละเอียดในการประเมินค่าก็ไม่ละเอียดพอ

หลังจากที่มีการพัฒนาเครื่องมือใหม่ ๆ เพื่อใช้ในการวัดความดันตา ที่สามารถทราบค่าแรงดันเป็น หน่วยมิลลิเมตรปรอทได้ทำให้ทราบว่าการประเมินค่าความดันตาด้วยนิ้วนั้นมีความแม่นยำในระดับหนึ่ง และพบความคลาดเคลื่อนได้ค่อนข้างสูง

จากการศึกษาที่ผ่านมามีผลลัพธ์ทั้งมีความแม่นยำและไม่มีความแม่นยำ ซึ่งการที่จะบ่งบอกว่าการใช้นิ้วคลำและประเมินค่าความดันตาเป็นหน่วยมิลลิเมตรปรอทเหมือนเครื่องวัดความดันตาโดยทั่วไปนั้นคงยากที่จะประมาณค่าได้ จึงควรมีค่าความละเอียดช่วงหนึ่งที่บอกความสามารถของการคลำด้วยมือ ซึ่งในปัจจุบันยังไม่มีผู้ใดทราบค่านี้ งานวิจัยฉบับนี้จึงมีวัตถุประสงค์คือ การสร้างเครื่องมือเพื่อศึกษาหาค่าความละเอียดของการประเมินค่าความดันลูกตาด้วยการคลำ

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ามีการศึกษาหาความแม่นยำของการประเมินค่าความดันตาด้วยการคลำหลากหลายวิธีโดยมากมักทดลองกับผู้ป่วยจริง[3-9] หรือทดลองจากลูกตาของมนุษย์หรือสัตว์ที่เสียชีวิตแล้ว[10] ซึ่งสามารถเก็บไว้ได้นานเพียงระยะหนึ่งหลังจากที่ทำการแช่ด้วยน้ำยาคงสภาพ แต่อาจมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อหรือปนเปื้อน และพบการประดิษฐ์เครื่องมือดวงตาจำลองที่สามารถปรับค่าแรงดัน ได้ ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ของ Amrein et al. [11] จดสิทธิบัตรในประเทศสหรัฐอเมริกาในปี 1997 ซึ่งผู้ประดิษฐ์กล่าวไว้ว่าตัวสิ่งประดิษฐ์สามารถใช้แทนการวัดความดันจากตาจริงได้ ลักษณะของสิ่งประดิษฐ์เป็นแผ่นลาเท็กซ์วางอยู่บนถุงที่บรรจุด้วยของเหลวอยู่ในเบ้าวงกลมซึ่งด้านล่างต่อกับฐานที่สามารถหมุนปรับฐานขึ้นลงเพื่อปรับขนาดแรงดันได้ โดยที่ผู้ประดิษฐ์ใช้ Schiotz tonometer วัดความดันในดวงตาจำลองพบว่าความดันที่วัดได้จากเครื่อง Schiotz tonometer มีความสัมพันธ์กับความดันในดวงตาจำลอง ในส่วนของ การปรับค่าความดันภายในอุปกรณ์จะต้องทำการปรับค่าแรงดันและใช้เครื่อง Schiotz tonometer วัดเทียบค่าความดันภายในอีกครั้งหนึ่ง จนได้ความดันภายในดวงตาจำลองที่ต้องการ ซึ่งอาจทำให้ไม่มีความสะดวกในการปรับค่าแรงดัน

ผู้วิจัยคิดว่าการทดลองในผู้ป่วยจริงนั้นอาจมีปัจจัยรบกวนหลายปัจจัยที่จะทำให้ผลการทดลองคลาดเคลื่อนหรือเกิดความไม่สะดวกได้ เช่น ความไม่สะดวกสบายของตัวผู้ป่วยภาวะเครียดหรือการเกร็งลูกตาอาจก่อให้เกิดความดันที่สูงขึ้นในขณะคลำ ความตึงหย่อนของหนังตารอยโรคที่หนังตาบนของผู้ป่วย ซึ่งจะมีผลต่อการประเมิน

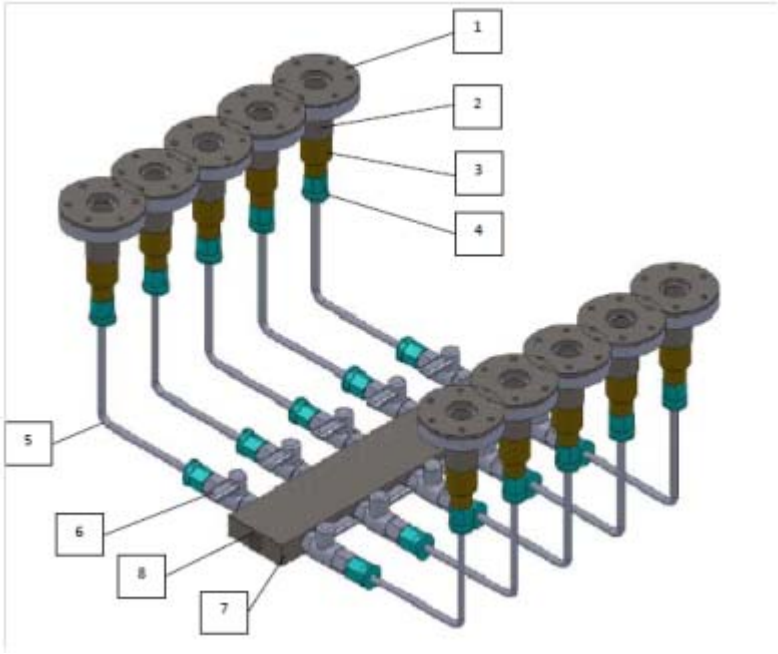
ค่าความดันตาขณะคลำ เป็นต้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกที่จะทดลองในดวงตาจำลองก่อน จึงเป็นที่มาของการผลิตอุปกรณ์แบบจำลองเพื่อการประเมินค่าความดันลูกตาชนิดนี้

นอกเหนือจากการใช้ทดลอง ยังสามารถนำอุปกรณ์นี้ให้นักศึกษาแพทย์ และบุคคลากรทางการแพทย์ได้ฝึกทดลองคลำเพื่อฝึกการประเมินค่าความดันตา ซึ่งจะสามารถไปใช้ประเมินค่าความดันตาในกรณีที่ไม่มีความพร้อมทั้งสถานที่และอุปกรณ์ให้เป็นประโยชน์ต่อไป

วิธีการดำเนินงาน

1. **ประดิษฐ์เครื่องมือใหม่ที่ใช้ในการประเมินค่าความดันตาด้วยการคลำ** โดยออกแบบตัวเครื่องมือให้ได้แรงดันในหน่วยมิลลิเมตรปรอทเพื่อให้ตรงกับหน่วยวัดความดันลูกตาตามมาตรฐานสากล จึงได้นำเครื่องวัดความดันโลหิตมาเป็นส่วนประกอบของอุปกรณ์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1.1 **โครงสร้างของเครื่องการประเมินค่าความดันลูกตาด้วยการคลำ** โดยมีรายละเอียดและส่วนประกอบดังนี้



1.1.1 แผ่นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดกับผิว

รูปที่ 1. แผ่นอุปกรณ์ที่ใช้ยึดผิวดวงตาจำลอง

แผ่นทำจากโลหะหล่อรูปวงกลมที่มีช่องกลมตรงกลาง 2 แผ่น คือตัวฐานรองผิววัสดุและแผ่นประกบผิววัสดุด้านบน

1.1.2 ตัวเชื่อมระหว่างดวงตาจำลองและแรงดันจากส่วนกลาง

1.1.3 ข้อต่อตรงเกลียว (female adapter)

1.1.4 ข้อต่อตรงนิวมาติก (pneumatic booting)

1.1.5 สายยาง (pneumatic tube)

1.1.6 ตัวเก็บแรงดันสำหรับดวงตาจำลอง (ball valve)

1.1.7 รางเชื่อมแรงดันในระบบ (link rail)

1.1.8 ข้อต่อเชื่อมแรงดัน (female adapter)

1.1.9 เครื่องมือวัดความดันโลหิต

รูปที่ 2. ตัวเก็บแรงดันสำหรับดวงตาจำลองที่เชื่อมต่อกับรางเชื่อมแรงดันในระบบ

รูปที่ 3. เครื่องมือวัดความดันโลหิต

รูปที่ 4. แสดงการเชื่อมต่อระหว่างเครื่องวัดความดันและรางเชื่อมแรงดันส่วนกลาง

รูปที่ 5. รูปแสดงแบบจำลองสำหรับการศึกษาความละเอียดในการประเมินค่าความดันลูกตาโดยการคลำ

1.2 **แผ่นผิววัสดุดวงตาจำลอง**

ผู้วิจัยได้ศึกษาลักษณะข้อมูลทางกายภาพของส่วนของตาขาวในลูกตา พบว่าเป็น avascular dense collagen fiber และส่วนประกอบอื่น ๆ อันได้แก่ proteoglycans, elastin และ glycoproteins ซึ่งทำให้ sclera ค่อนข้างมีความเหนียวและยืดหยุ่นน้อย

ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะใช้ แผ่นซิลิโคนหนา 1 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่บางที่สุดในท้องตลาดมาทำการทดลอง แต่เนื่องจากแผ่นซิลิโคนที่มีความหนา 1 มิลลิเมตรนั้น ค่อนข้างมีความหนา มากจนเกินไปเมื่อใส่แรงดันขนาด 10, 20 และ 30 มิลลิเมตรปรอท ผู้วิจัยไม่รู้สึกถึงแรงตึงผิวที่เปลี่ยนแปลง จึงได้นำเครื่องวัดความดันตา schiotz มาวัด พบว่าไม่มีความแตกต่างกันเช่นเดียวกัน

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้เลือกแผ่นรองอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมตัวชี้บนจอคอมพิวเตอร์ (mouse pointer) ที่ทำจากซิลิโคนแผ่นเช่นเดียวกัน ซึ่งมีความหนา 0.5 มิลลิเมตร เนื่องจากมีความหนาใกล้เคียงค่าเฉลี่ยความหนาของตาขาว แต่เมื่อใส่แรงดันขนาดเดิมเข้าไป ผลที่ได้พบว่าไม่แตกต่างจากแผ่นซิลิโคนที่ มีความหนา 1 มิลลิเมตร

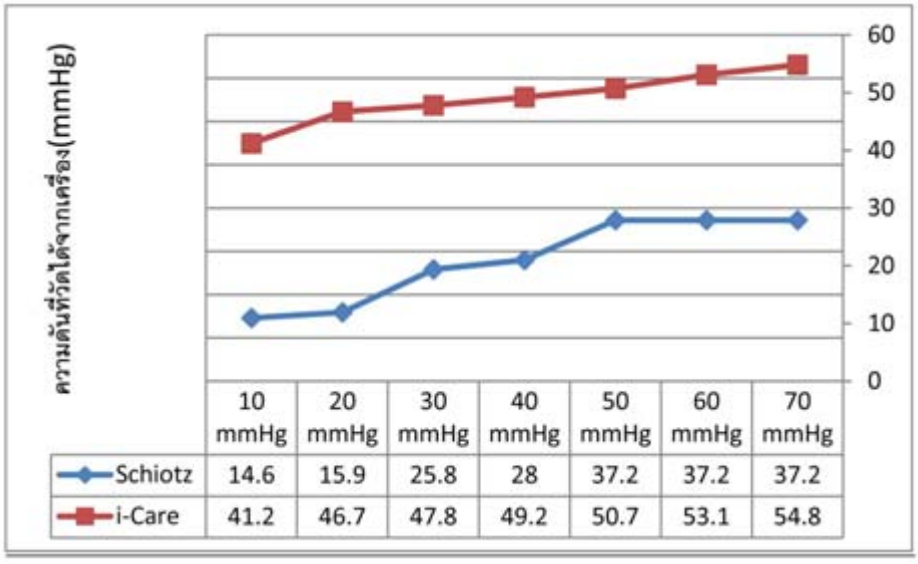
ผู้วิจัยจึงเลือกที่จะหล่อตัวผิววัสดุขึ้นมาใหม่โดยใช้ยางซิลิโคนเหลว ทาบนแผ่นอะคริลิก เมื่อแห้งจึงลอกออกได้แผ่นยางซิลิโคนที่ความยืดหยุ่นใกล้เคียงกับตาขาว และให้สัมผัสคล้ายกับการคลำลูกตา

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่าแผ่นผิววัสดุยางซิลิโคนที่หล่อขึ้นมาใหม่นั้นมีความสัมพันธ์ไปในแนวเดียวกันระหว่างเครื่องวัดความดันตาทั้งสอง แต่ความสัมพันธ์อาจไม่ได้เป็นไปในแนวเส้นตรงอาจเนื่องมาจากแผ่นวัสดุยางซิลิโคนที่หล่อขึ้นมานั้นมีความหนาที่ไม่เท่ากัน

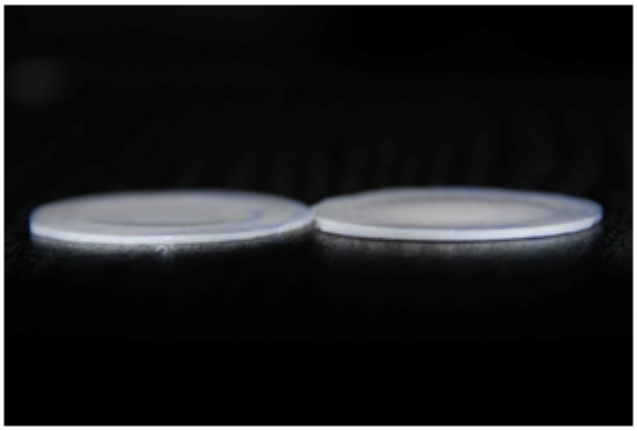
นอกเหนือจากนี้ยังมีงานวิจัยที่สนับสนุนว่าลักษณะของ corneal properties ในแง่ของ corneal hysteresis และ coneal resistance factor[12] นั้น มีผลต่อการวัดของ Rebound tonometer (i-care) ซึ่งอาจอธิบายผลการวัดความดันของเครื่องดวงตาจำลองด้วยเครื่อง i-care ที่พบว่าค่าความดันจริงนั้นต่ำกว่า ค่าความดันที่วัดได้ (range 15.5 -30 mmHg) เนื่องมาจากลักษณะทางกายภาพของแผ่นยางซิลิโคนนั้นมีความแตกต่างจากผิวของกระจกตา

2. การทดสอบระบบ

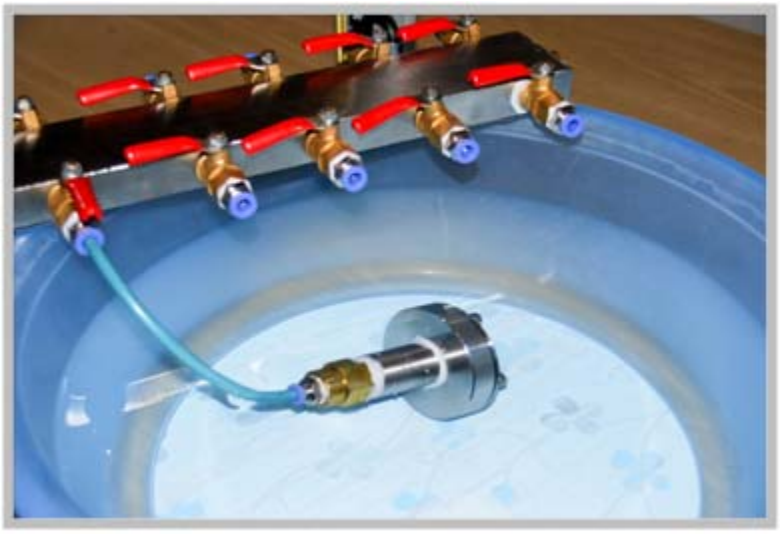
ผู้วิจัยได้นำแบบจำลองมาทดสอบระบบการรั่ว ซึ่งจะนำไปสู่ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล ก่อให้เกิดความผิดพลาดของระบบ โดยนำแบบจำลองมาแช่ในน้ำเป็นส่วน ๆ เพื่อตรวจสอบหาฟองอากาศที่ลอยขึ้นเมื่อใส่แรงดันเข้าไประดับหนึ่ง เป็นการแสดงให้เห็นว่ามีการรั่วของระบบ โดยผลทดสอบพบว่ามีการรั่วของระบบหนึ่งตำแหน่งข้อต่อตรงนิวมาติกและข้อต่อตรงเกลียวในดวงตาจำลองชิ้นหนึ่ง และได้นำอุปกรณ์นั้นไปแก้ไขและทดสอบอีกครั้ง ไม่พบว่ามีการรั่วของระบบอีก



รูปที่ 6. แสดงความสัมพันธ์ของเครื่องวัดความดันตาทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 7. แสดงแผ่นซิลิโคนยางที่หล่อขึ้นมาเอง ซึ่งมีคุณสมบัติยืดหยุ่นใกล้เคียงตาขาว



รูปที่ 8. รูปแสดงการทดสอบการรั่วของอุปกรณ์

3. การดำเนินงานต่อ

เนื่องจากความหนาของแผ่นยางซิลิโคนไม่เท่ากันอาจมีผลต่อการประเมินความดันลูกตาด้วยนิ้วมือ ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าจะทำการหล่อแผ่นยางซิลิโคนด้วยวิธีใหม่เพื่อให้ได้ความหนาที่แน่นอนอีกครั้ง แต่ในแง่ของงานวิจัยนั้นเครื่องวัดความดัน (sphygmomanometer) เป็นตัวกำหนดค่าแรงดันที่บรรจุไว้แน่นอนอยู่แล้ว จึงคิดว่าแผ่นวัสดุที่มีความหนาไม่เท่ากันนี้ ไม่ได้เป็นปัญหาต่องานวิจัย และคิดว่าจะนำเครื่องมือ ใหม่ที่ใช้ในการประเมินค่าความดันตาด้วยการคลำไปดำเนินงานวิจัยต่อยอดเพื่อหาค่าความละเอียดของการประเมินค่าความดันตาด้วยนิ้วมือที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายอีกต่อไป

อย่างไรก็ดีในทางปฏิบัติเมื่อทำการประเมินค่าความดันตาในผู้ป่วยจริงจะใช้การคลำผ่านหนังตามิได้คลำบนดวงตาโดยตรงดังนั้นค่าที่ได้จากการประเมินค่าโดยการคลำจากอุปกรณ์นี้อาจแตกต่างจากการคลำในผู้ป่วยจริง

ขณะนี้ผู้วิจัยได้ทำการขอจดสิทธิบัตรเครื่องมือที่ใช้ในการประเมินค่าความดันตาด้วยการคลำ โดยทำการจดสิทธิบัตรในนามของศูนย์เทคโนโลยีการผลิต

เครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ การผลิตเครื่องมือและอุปกรณ์ทางการแพทย์ (Chula Medical Inventor Technology Center, Chula-MITC) ซึ่งยังอยู่ในกระบวนการพิจารณา

อ้างอิง

1. Wikipedia, The Free Encyclopedia. Ocular tonometry [online]. 2012 [cited 2011 Sep 10]. Available from: http://en.wikipedia.org/wiki/Ocular_tonometry
2. ElMallah MK, Asrani SG. New ways to measure intraocular pressure. Curr Opin Ophthalmol 2008 Mar; 19(2): 122-6
3. Baum J, Chaturvedi N, Netland PA, Dreyer EB. Assessment of intraocular pressure by palpation. Am J Ophthalmol 1995 May; 119(5): 650-1
4. McDonald JE, Caygill WM. The unreliability of tactile tension. J Am Med Assoc 1957 Nov; 165(9): 1131-3
5. Heidary F, Gharebaghi R, Heidary R, Gharebaghi AH. Importance of digital palpation as a routine technique for intraocular pressure estimation in primary care settings. Clin Optom 2010 Sep; (2):91-2
6. Ficarra AP, Sorkin R, Morrison C. Assessment of intraocular pressure in children by digital tension. Optometry 2002 Aug; 73(8): 499-506
7. Antao SF, Kasaby H. Evaluation of intraocular pressure at the end of cataract surgery. J Cataract Refract Surg 2008 Feb; 34(2): 258-61
8. Rubinfeld RS, Cohen EJ, Laibson PR, Arentsen JJ, Lugo M, Genvert GI. The accuracy of finger tension for estimating intraocular pressure after penetrating keratoplasty. Ophthalmic Surg Lasers 1998 Mar; 29(3): 213-5
9. Troost A, Yun SH, Specht K, Krummenauer F, Schwenn O. Transpalpebral tonometry: reliability and comparison with Goldmann applanation tonometry and palpation in healthy volunteers. Br J Ophthalmol 2005 Mar; 89(3): 280-3
10. Birnbach CD, Leen MM. Digital palpation of intraocular pressure. Ophthalmic Surg Lasers 1998 Sep; 29(9): 754-7
11. Amrein BE, Karesh JW. Training device for digital assessment of intraocular pressure [online]. 1999 [cited 2011 Sep 10]. Available from: http://www.freepatentsonline.com/5868580.html
12. Chui WS, Lam A, Chen D, Chiu R. The influence of corneal properties on rebound tonometry. Ophthalmology 2008 Jan; 115(1): 80-4