

เสื้อเกราะสำหรับผู้ป่วยกระดูกสันหลังคด

Scoliosis Brace

คุณยุต เอี่ยมสอาด¹ กิตตินาถ วรรณิสสร¹ วรทยา ธรรมกิตติภพ²

พิชญะ ระโยธี³ และ ขวัญเนตร เพิ่มพูล³

¹ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาอาชีวศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³โรงเรียนกายอุปกรณ์สิรินธร คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

Email : kunnayut@gmail.com

บทคัดย่อ

ปัญหาการทำเสื้อเกราะสำหรับผู้ป่วยกระดูกสันหลังคด คือ การหล่อแบบด้วยปูน คนไข้จำเป็นต้องเกร็งลำตัวอยู่หนึ่งจนปูนแห้ง ซึ่งต้องใช้ระยะเวลานาน นอกจากนั้นการปรับแต่งด้วยมือจึงทำให้มีความคลาดเคลื่อนสูง ส่งผลให้ขนาดของเสื้อเกราะคลาดเคลื่อน และกดทับกระดูกของผู้ป่วยภายหลังการสวมใส่เพื่อการรักษา จึงทำให้ต้องมีการแก้ไขชิ้นงานหลายครั้ง การผลิตจึงต้องใช้เวลานาน การวิจัยครั้งนี้จึงมุ่งพัฒนาพัฒนาเสื้อเกราะที่ใช้สำหรับการดัดกระดูกสันหลังคด โดยนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในการขึ้นรูปเสื้อเกราะแบบพอดิตัวสำหรับผู้ป่วย วิธีการพัฒนาเริ่มจากการสแกนลำตัวของอาสาสมัครแทนผู้ป่วยด้วยเครื่องสแกนสามมิติ หลังจากนั้นนำไฟล์พื้นผิวสามมิติที่ได้มาต่อกันเป็นแม่พิมพ์เนกาตีฟ 3D และทำการปรับแต่งเพื่อให้มีขนาดและรูปร่างให้เหมาะที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นเสื้อเกราะที่เข้ากับลำตัวอาสาสมัคร และทำการปรับแต่งพื้นผิวสามมิติ ก่อนการขึ้นรูปสรีระส่วนบนด้วยเครื่องซีเอ็นซี 4 แกน ผลจากการนำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในการผลิตเสื้อเกราะสามมิติสำหรับผู้ป่วยสันหลังคด พบว่า ใช้เวลาในการผลิตไม่เกิน 3 วัน เมื่อเทียบกับวิธีการเดิมซึ่งใช้เวลา 14 วัน เสื้อเกราะสามมิติที่ได้มีความสวยงาม มีขนาดพอดิบกับสรีระอาสาสมัคร หดกั้วลงเรื่องปัญหาความไม่สบายตัว ลดการบาดเจ็บจากการสวมใส่และการใช้ชีวิตประจำวัน อาสาสมัครสามารถสวมใส่ได้ช่วงระยะเวลายาวนานขึ้น ซึ่งส่งผลให้การรักษาผู้ป่วยในการใช้งานจริงดีขึ้น สอดคล้องกับแผนการรักษาผู้ป่วยของแพทย์อย่างเห็นได้ชัด

คำสำคัญ :

โรคกระดูกสันหลังคด เสื้อเกราะ การสแกน 3 มิติ วิศวกรรมย้อนรอย

Abstract

One of the problems of making the scoliosis braces is the plaster casting process. The patients need to hold the bodies still for a certain amount of time until the plaster casts set which usually take quite some time. Moreover, molds finished by hand can most likely lead

to some geometric errors that cause pressure on the patient bone and body upon wearing. Modifications are most likely to be occurred. Manufacturing, thus, may take weeks. This research aims to develop a standard process to produce a scoliosis brace that fits the patient body using Reverse Engineering technique. The process can be described as follow. We start collecting data from the volunteer instead of the real patient by scanning on volunteer body using a 3D structured light scanner. After that, the 3D patches are then merged into a 3D negative mold which is used to make size and shape of the brace that fits the volunteer. The negative mold is then adjusted before sending to 4-axis CNC machining. The results from this research show that the lead time for this brace is reduced to 3 days compared to 14 days in the conventional process. The scoliosis brace made from this technique looks good and fits the volunteer body. Irritations and pains caused by daily usage can be gotten rid of. Volunteer is willing to wear the brace for longer period of time which in turn help the real patients to follow treatment schedule designed by the doctor.

Keywords :

scoliosis, scoliosis brace, 3D scan, CNC machining

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยมีผู้ป่วยโรคกระดูกสันหลังคด (Scoliosis) จำนวนมาก โดยผู้ป่วยจะไม่มีอาการแสดงออกในระยะเริ่มต้น แต่มักเกิดจากการสังเกตเห็นความผิดปกติจากลักษณะภายนอกของผู้ป่วยโดยญาติหรือเพื่อน โดยมีอาการ คือ ไหล่สองข้างของผู้ป่วยสูงไม่เท่ากัน แผ่นหลังสองข้างนูนไม่เท่ากัน หน้าอกนูนไม่เท่ากัน สะโพกสูงต่ำไม่เท่ากัน (ภาพที่ 1) ซึ่งอาการเหล่านี้จะทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถใช้ชีวิตประจำวันได้สะดวก สรีระไม่สวยงาม และอาจนำไปสู่การเกิดโรคหัวใจ และปัญหาทางเดินปัสสาวะ หรือส่งผลต่อระบบทางเดินหายใจของผู้ป่วยอีกด้วย



ภาพที่ 1 ลักษณะผู้ป่วยโรคกระดูกสันหลังคด
ที่มา: [http://www.appletreeorthotics.com/
custom-orthotics-plagiocephaly-braces/
learning-centre](http://www.appletreeorthotics.com/custom-orthotics-plagiocephaly-braces/learning-centre)

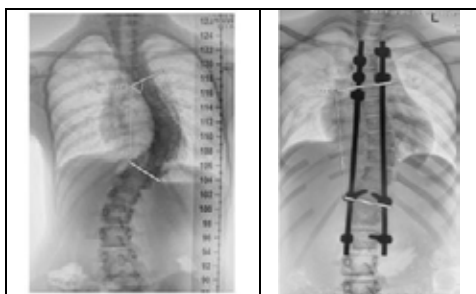
โรคกระดูกสันหลังคดนั้นสามารถแบ่งออกตามลักษณะการเกิดได้ 3 ประเภท

1. กระดูกสันหลังคดแต่กำเนิด (Congenital Scoliosis) เป็นกระดูกสันหลังคดที่เกิดขึ้นจากการที่กระดูกสันหลังถูกสร้างขึ้นผิดปกติตั้งแต่เป็นตัวอ่อนในมดลูกแม่

2. กระดูกสันหลังคดจากโรคประสาทกล้ามเนื้อ (Neuromuscular Scoliosis) เป็นกระดูกสันหลังคดที่พบในเด็กที่มีความผิดปกติของสมองเป็นเหตุให้กล้ามเนื้อหลังเกร็งไม่เท่ากันทั้งสองด้าน

3. กระดูกสันหลังคดที่หาสาเหตุไม่พบ (Idiopathic Scoliosis) เป็นกระดูกสันหลังคดที่พบบ่อยที่สุด พบในเด็กวัยเริ่มหนุ่มเริ่มสาวที่ดูเหมือนเด็กปกติ การวินิจฉัยอาศัยการตรวจร่างกายและการตรวจกระดูกสันหลังอย่างละเอียด และไม่พบสาเหตุที่พอจะอธิบายการเกิดการคดของกระดูกสันหลังได้

การรักษาโรคกระดูกสันหลังคดสามารถทำการรักษาใน 2 ลักษณะ ขึ้นอยู่กับความร้ายแรงของการคดของกระดูกของผู้ป่วย โดยผู้ป่วยที่มีอาการร้ายแรงจะรักษาโดยการทำให้กระดูกคดน้อยลง โดยใช้วิธีการผ่าตัดตามหลักบริเวณกระดูกสันหลังดังแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งการผ่าตัดนี้จะเป็นทางเลือกสุดท้าย และจะทำในรายที่มีความผิดปกติในระดับรุนแรงและส่งผลกระทบต่อชีวิต



ภาพที่ 2 กระดูกสันหลังก่อนและหลังการผ่าตัด
ที่มา <http://www.si.mahidol.ac.th/sidoctor/e-pl/articleDetail.asp?id=981>

การรักษาอีกวิธีหนึ่ง คือ การสวมใส่สื่อเกราะสำหรับผู้ป่วยกระดูกสันหลังคด (Scoliosis Brace) ซึ่งแพทย์เลือกใช้สำหรับการแก้ไขโครงสร้างกระดูกสันหลังเมื่อพบความผิดปกติที่ยังไม่ร้ายแรงมากจนเกินไป หรือการวินิจฉัยพบในเบื้องต้น

ผู้ป่วยโรคนี้ส่วนใหญ่จะมีความคดของกระดูกสันหลังไม่เกิน 40 – 45 องศา แพทย์จึงมุ่งการรักษาไปในลักษณะที่สอง คือใช้วิธีการทำให้การคดของกระดูกลดลง โดยการให้ผู้ป่วยสวมใส่สื่อเกราะพยุงตัวไว้ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 3 โดยแพทย์จะกำหนดให้สวมใส่สื่อเกราะตลอดเวลา ยกเว้นเวลาอาบน้ำ และเมื่อแพทย์วิเคราะห์อาการของคนไข้ว่ามีอัตราการคดงอที่ลดลง จึงจะปรับแผนการรักษาให้ผู้ป่วยลดชั่วโมงการสวมใส่ลง [1-4]



ภาพที่ 3 สื่อเกราะผู้ป่วยโรคกระดูกสันหลังคด

ในอดีตการรักษาผู้ป่วยโรคกระดูกสันหลังคดชนิดทั่วไปในประเทศไทยจะใช้ค่าใช้จ่ายสูง เนื่องจากต้องนำเข้าสื่อเกราะจากต่างประเทศ เพราะฉะนั้นแผนกออร์โธปิดิกส์ และกายอุปกรณ์ของประเทศไทย จึงได้ผลิตสื่อเกราะใช้เองภายในประเทศ เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการรักษาผู้ป่วยลง โดยใช้วิธีการหล่อเฟืองหลังด้วยปูน ซึ่งชิ้นงานที่ได้จะต้องมีการขัดปรับแต่งด้วยช่างเทคนิคเพื่อให้มีขนาดตรงตามลักษณะหลังของคนไข้ และเป็นไปตามแผนการรักษาของแพทย์ และที่สำคัญใช้เวลาในการปรับแต่ง อาจมีความเที่ยงตรงน้อยกว่าสรีระจริงของผู้ป่วย ดังแสดงในภาพที่ 4



ชิ้นงานที่ได้จากวิธีการผลิตแบบปัจจุบันยังมีความเที่ยงตรงต่ำ ซึ่งคณะผู้วิจัยได้วิเคราะห์สาเหตุของปัญหาจากขั้นตอนการผลิตเดิม พบว่าเนื่องจากการหล่อเฟืองหลังด้วยปูนคนใช้จำเป็นต้องเกร็งลำตัวอยู่หนึ่งจนปูนแห้ง ซึ่งใช้ระยะเวลานาน อาจทำให้เกิดการขยับตัวโดยไม่สังเกตเห็น จึงทำให้เฟืองปูนที่เป็นแม่แบบไม่ได้รูปทรง อีกทั้งการปรับแต่งด้วยมืออาจมีการคลาดเคลื่อนจึงทำให้ขนาดของเสื้อเกราะคลาดเคลื่อนและกดทับกระดูกของผู้ป่วย ทำให้ผู้ป่วยเกิดการบาดเจ็บได้ จึงต้องมีการแก้ไขชิ้นงานหลายครั้งซึ่งทำให้เพิ่มระยะเวลาในการผลิต รวมแล้วการผลิตเสื้อเกราะสำหรับผู้ป่วยด้วยการทำเฟืองปูนใช้เวลาประมาณสองสัปดาห์



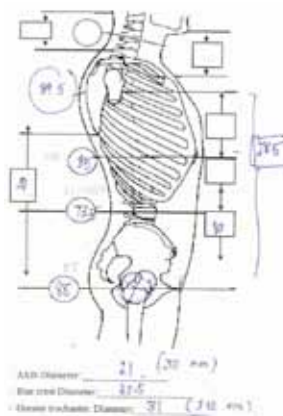
ภาพที่ 4 แม่พิมพ์ที่ใช้ทำเสื้อเกราะและการปรับแต่งแม่พิมพ์เสื้อเกราะด้วยผู้เชี่ยวชาญ

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

พัฒนาเสื้อเกราะที่ใช้สำหรับการตัดกระดูกสันหลังคด โดยนำความรู้ทางด้านวิศวกรรมย้อนรอยมาใช้ในการขึ้นรูปเสื้อเกราะแบบพอดีตัวสำหรับผู้ป่วยที่มีปัญหา

3. ขั้นตอนการพัฒนากระบวนการผลิตเสื้อเกราะด้วยการสแกน 3 มิติ

ขั้นตอนที่ 1 วัดขนาดลำตัวผู้ป่วยเพื่อใช้ในการอ้างอิง (วิธีการดั้งเดิม)



ภาพที่ 5 ขนาดของลำตัวผู้ป่วยที่วัดได้



ภาพที่ 6 การวัดลำตัวอาสาสมัคร

สำหรับวิธีการทำแม่พิมพ์ลำตัวแบบดั้งเดิมจะใช้วิธีการวัดเพื่อที่จะเกลาแต่งปูนให้เป็นรูปทรงลำตัวของผู้ป่วย ซึ่งต้องอาศัยนักกายอุปกรณ์ที่มีความเชี่ยวชาญและประสบการณ์สูงจึงจะสามารถทำแม่พิมพ์ที่เข้ากับสรีระผู้ป่วยได้จริง เนื่องจากการแต่งแม่พิมพ์นั้นเป็นการประมาณจากขนาดทั้งหมดที่วัดได้ (ภาพที่ 5) พนวกกับกายสรีระศาสตร์ ไม่ใช่รูปทรงที่แท้จริงของผู้ป่วย อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้ขนาดลำตัวที่วัดได้จากขั้นตอนนี้ไม่ได้นำมาใช้ขึ้นรูปแม่พิมพ์ลำตัวผู้ป่วยโดยตรง แต่จะถูกนำมาเพื่อทวนสอบขนาดต่างๆ ที่สแกนได้

จากการทดลอง คณะผู้วิจัยใช้อาสาสมัครแทนผู้ป่วย ซึ่งอาสาสมัครจะต้องสวมชุดเพื่อให้ร่างกายอุปกรณ์วัดแนวเส้นต่างๆ ที่สำคัญ รวมทั้งตำแหน่งปุ่มกระดูกที่นูน และจะกดทับกับสื่อเกราะก่อนจะวัดขนาดด้วยเครื่องมือลักษณะเหมือนคาลิเปอร์วัดนอก (เชาควาย) และเวอร์เนียร์ ดังแสดงในภาพที่ 6

ขั้นตอนที่ 2 สแกน 3 มิติ ลำตัวผู้ป่วย (นำเทคโนโลยีวิศวกรรมย้อนรอยเข้ามาพัฒนา)

ขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อสร้างแบบจำลอง 3 มิติจากลำตัวของอาสาสมัคร และนำไปใช้สำหรับกระบวนการผลิตสื่อเกราะต่อไป โดยเลือกใช้การสแกนชิ้นงาน 3 มิติแบบไม่สัมผัส ชนิด White Light ในการเก็บข้อมูลจากอาสาสมัคร ซึ่งไม่สร้างอันตรายต่อผิวหนังมนุษย์ขณะสแกน และสามารถเก็บข้อมูลได้อย่างรวดเร็ว เหมาะกับการเก็บข้อมูลจากผู้ป่วย ซึ่งมีการขยับตัวเล็กน้อยอยู่ตลอดเวลา ดังแสดงในภาพที่ 7 [7] อีกทั้งยังสามารถเก็บสีของพื้นผิวที่สแกนได้ ทำให้ทราบจุดที่แพทย์ได้กำหนดปุ่มกระดูก

ต่างๆ บนตัวผู้ป่วย เพื่อนำไปใช้ในการปรับแต่งพื้นผิวสามมิติในขั้นตอนถัดไปได้ ซึ่งสำเนาดิจิตอล 3 มิติลำตัวอาสาสมัครที่สแกนได้มีลักษณะดังแสดงในภาพที่ 8



ภาพที่ 7 การสแกน 3 มิติลำตัวอาสาสมัคร

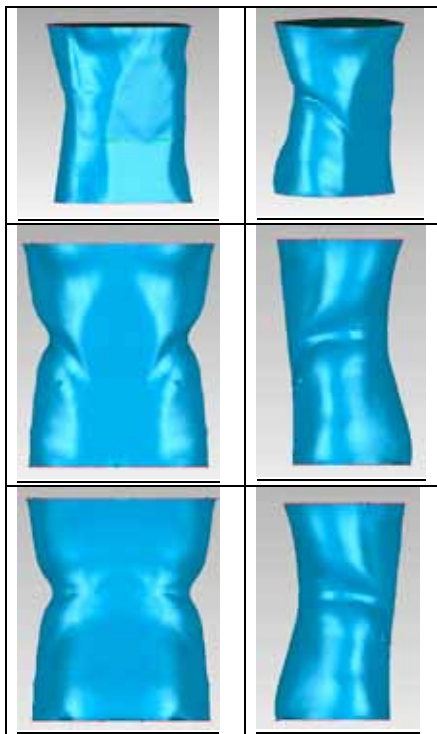


ภาพที่ 8 สำเนาดิจิตอล 3 มิติลำตัวอาสาสมัคร

ขั้นตอนที่ 3 การปรับแต่งไฟล์ 3 มิติ

เมื่อได้สำเนาดิจิตอล 3 มิติลำตัวอาสาสมัครมาแล้ว จึงปรับไฟล์สรีระที่บิดเบี้ยวให้ได้รูปลักษณะตามที่แพทย์ต้องการด้วยวิธีการ 3 มิติ นอกจากนั้นยังต้องทำการแบนราบหน้าท้อง มนร่องกัน รวมทั้งทำเครื่องหมายบากไว้ ณ บริเวณเอว เพื่อให้สื่อเกราะนั้นยึดเกาะกับลำตัวของอาสาสมัครได้ดีขึ้น ดังแสดง

ในภาพที่ 9 ซึ่งจะได้เห็นได้ชัดเจนว่า การปรับแต่งไฟล์ 3 มิติสามารถปรับแต่งได้ง่าย ตรงตามแผนการรักษาของแพทย์หรือตามความต้องการของแพทย์ในการรักษา ซึ่งสะดวกและรวดเร็วกว่าการแต่งก่อนปูนปลาสเตอร์ด้วยมือช่างกายอุปกรณ์อย่างเห็นได้ชัด



ภาพที่ 9 ไฟล์ 3 มิติหลังปรับแต่งเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 4 การกัดชิ้นงานด้วยเครื่องกัด CNC 4 แกน

เมื่อได้ไฟล์ 3 มิติที่สมบูรณ์พร้อมกัดแล้วจึงทำการกัดรูปทรง ดังภาพที่ 9 ด้วยเครื่องกัด 4 แกน และในภาพที่ 10 แสดงให้เห็นหุ่นปูนปลาสเตอร์ที่กัดจากรูปสรีระที่สแกนได้จากกระบวนการที่แล้วด้วยเครื่องกัดซีเอ็นซี 4 แกน



ภาพที่ 10 หุ่นปูนปลาสเตอร์ที่กัดจากรูปสรีระ

เมื่อได้หุ่นสรีระปูนปลาสเตอร์แล้วจึงนำไปขึ้นรูปเสื้อเกราะด้วยการหุ้มด้วยแผ่นพลาสติกที่ให้ความร้อน และบีบให้ติดกันสนิท เพื่อดูด (Suction) แผ่นพลาสติกให้รัดเข้ารูปติดกับหุ่นสรีระปูนปลาสเตอร์ แล้วปล่อยให้เย็นตัว จึงตัดผ้าเสื้อเกราะพลาสติกที่ขึ้นรูปแล้วออกจากแม่พิมพ์ และตกแต่งให้เรียบร้อย ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 การขึ้นรูปเสื้อเกราะ

4. สรุปผลการพัฒนากระบวนการผลิตสื่อเกราะสำหรับผู้ป่วยกระดูกสันหลังคด

การใช้เทคโนโลยีวิศวกรรมย่อนรอยเข้ามาช่วยในการพัฒนางานด้านกายอุปกรณ์ถือเป็นการเปลี่ยนงานยากและใช้เวลานานให้เป็นงานง่ายสำหรับนักกายอุปกรณ์ ในการดำเนินการผลิตสื่อเกราะสามมิติสำหรับผู้ป่วยสันหลังคด นวัตกรรมที่พัฒนาขึ้นช่วยให้การรักษาของแพทย์ตรงตามแผนการรักษามากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด เพราะอาสาสมัคร (ผู้ป่วยในการใช้งานจริง) มีความพึงพอใจต่อขนาดของเฟือกที่ตรงตามสรีระของตนเอง มีความสวยงาม ใส่ได้นานโดยไม่กระทบกับการทำงานในชีวิตประจำวัน

ขั้นตอนในการผลิตที่ไม่ยุ่งยากใน 4 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การวัด สแกนหลังของผู้ป่วย ปรับแต่งไฟล์ 3 มิติ สู่การขึ้นรูป ปรับแต่งผิวสามมิติ และขึ้นรูปสรีระส่วนบนด้วยเครื่องซีเอ็นซี 4 แกน และที่สำคัญผลิตได้เร็วขึ้นโดยใช้เวลาเพียง 3 วันจาก 14 วัน ลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้ออุปกรณ์จากต่างประเทศ จึงเห็นได้ชัดว่าการทำสื่อเกราะด้วยวิธีใหม่นี้ช่วยแบ่งเบาภาระนักกายอุปกรณ์เป็นอย่างมากในการขึ้นรูปแม่พิมพ์ปูนปลาสเตอร์โดยใช้เครื่องจักรซีเอ็นซีเข้ามาแทนที่ซึ่งช่วยให้ปัญหาการขาดแคลนบุคลากรทางด้านกายอุปกรณ์ลดน้อยลงได้อีกด้วย

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่านักวิจัยไทยสามารถใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ธรรมดาที่ใช้ในงานผลิตทางอุตสาหกรรมมาช่วยงานทางด้านวิทยาศาสตร์การแพทย์หรือวิศวกรรมชีวการแพทย์นี้ได้ ซึ่งเป็นการลดปัญหา

การซื้อเทคโนโลยีที่ต้องใช้เงินทุนสูง และลดการนำเข้ากายอุปกรณ์จากต่างประเทศที่มีราคาแพง เพราะสามารถผลิตและพัฒนาเองได้ในประเทศไทย

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโรงเรียนกายอุปกรณ์สิรินธร คณะแพทยศาสตร์ ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล และขอขอบคุณบริษัท จีโอเวอร์คัล จำกัด สำหรับเครื่องมือและโปรแกรมต่างๆ ที่ใช้ในการจัดทำฐานข้อมูลไฟล์สำเนาดีจิตอล 3 มิติ และท้ายที่สุดนี้ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และ เครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ด้วย

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] อำนวย จิระสิริกุล (2555). กระดูกสันหลังคด (Scoliosis). Available via DIALOG: <http://haamor.com/th>. สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558
- [2] รัฐธรร พนัสสรณ์ และ สิทธิธรร สุขุมวาท (2553). กระดูกสันหลังคด รักษาอย่างไร? Available via DIALOG: <http://www.healthy.freewer.net/index.php/pediatric/scoliosis.html> สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558
- [3] บริษัท พีเอฟ (ไทยแลนด์) จำกัด (2550). กระดูกหลังคดและรักษากระดูกหลังคด. Available via DIALOG: <http://www.spinefitpro.net/prettyPhoto>. สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558



[4] แหล่งรวบรวมข้อมูลสุขภาพ โรงพยาบาลและแพทย์ (2555). กระดูกสันหลังคด. Available via DIALOG: <http://haamor.com/th>. สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558

[5] วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี (2556). วิศวกรรมย้อนรอยด้วยเทคโนโลยีสแกนเนอร์ 3 มิติ. Available via DIALOG: <http://www.vcharkarn.com/varticle/38805> สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558

[6] วิศวกรรมย้อนรอย Reverse Engineering (2553). วิศวกรรมย้อนรอย. Available via DIALOG: http://www.fantasia.co.th/reverse_eng.html สืบค้นเมื่อ 26 พ.ย. 2558

[7] คุณยุต เอี่ยมสอาด และ คณะ (in print). หมวกปรับรูปทรงกะโหลกศีรษะทารก วิศวกรรมสาร มก., Volume 97, กค.-กย. 2559.