

วิธีการถ่ายภาพทอศภาพหัวคอนดายล์จากภาพรังสีพานอรามิก มาสู่ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง



นางสาว ดวงกมล อัครวิวรรณ

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน

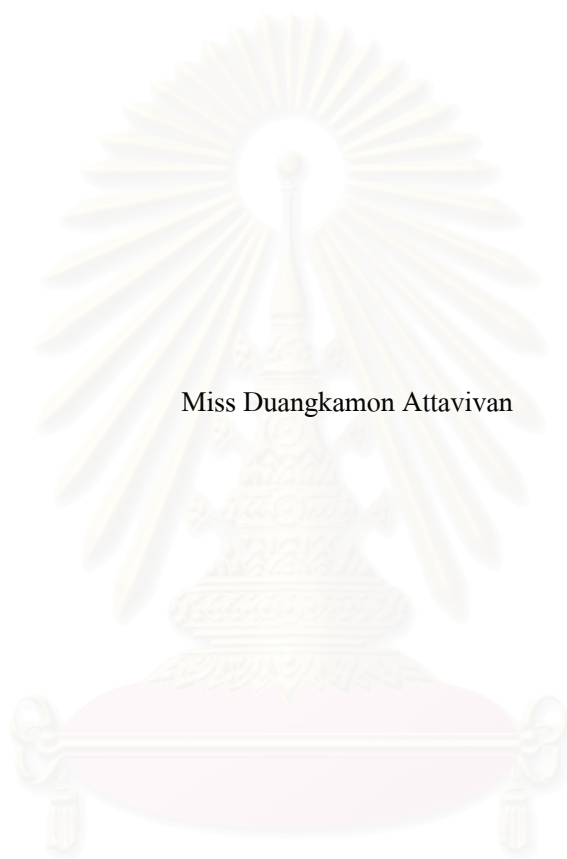
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4064-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A METHOD TO TRANSFER CONDYLAR HEAD IMAGE FROM PANORAMIC TO LATERAL
CEPHALOMETRIC RADIOGRAPH



Miss Duangkamon Attavivan

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Orthodontics

Department of Orthodontics

Faculty of Dentistry

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4064-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	วิธีถ่ายทอดภาพหัวคอนดาขี้จากภาพรังสีพานอรามิก มาสู่ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง
โดย	นางสาว ดวงกมล อัครทิววรรณ
ภาควิชา	ทันตกรรมจัดฟัน
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง พรทิพย์ ชิวชรัตน์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดอกเตอร์ สุนทรา พันธุ์มีเกียรติ

คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

.....คณบดีคณะทันตแพทยศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ สุรสิทธิ์ เกียรติพงษ์สาร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ทันตแพทย์ สมศักดิ์ เจิงประภากร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง พรทิพย์ ชิวชรัตน์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ดอกเตอร์ สุนทรา พันธุ์มีเกียรติ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ วัชร เพชรคุปต์)

ดวงกมล อชทวิวรรณ : วิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาขล้จากภาพรังสีพานอรามิก มาสู่ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง. (A METHOD TO TRANSFER CONDYLAR HEAD IMAGE FROM PANORAMIC TO LATERAL CEPHALOMETRIC RADIOGRAPH)

อ. ที่ปรึกษา : รศ.ทพญ. พรทิพย์ ชิวชรัตน์, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ทพ.ดร. สุนทรา พันธุ์มีเกียรติ
98 หน้า. ISBN 974-17-4064-6.

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคิดค้นวิธีการถ่ายทอดรูปร่างของหัวคอนดาขล้จากภาพรังสีพานอรามิก มายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างและทดสอบความถูกต้องของวิธีการที่คิดค้นได้ โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่อแก้ไขปัญหาภาพหัวคอนดาขล้ที่มองเห็นไม่ชัดเจนในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ทำให้การวิเคราะห์ภาพรังสีที่เกี่ยวข้องกับจุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดาขล้ไม่สามารถกระทำได้อย่างแม่นยำ หรือมีความจำเป็นต้องถ่ายภาพรังสีเพิ่มเติม วิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาขล้ที่คิดค้นขึ้นนี้อาศัยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนจากตัวอย่างจำนวน 100 คน เพื่อหาความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างภาพรังสีทั้งสอง โดยนำตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปรได้แก่ ระยะระหว่างหัวคอนดาขล้ ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ระยะฟันหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนีนอน มุมโกนีนอล และ ความสูงเรมัส มาใช้ในการทำนายค่าระยะปรับแนวตั้งสำหรับการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาขล้สมการที่ได้คือ ระยะปรับแนวตั้ง = $-17.793 + 0.239$ ความสูงเรมัส + 0.0784 มุมโกนีนอล ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจร้อยละ 67.9

เมื่อทดสอบความถูกต้องของสมการโดยใช้ตัวอย่างจำนวน 50 คน พบว่าระยะปรับแนวตั้งที่ได้จากสมการและจากการซ้อนทับภาพหัวคอนดาขล้ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 มีส่วนต่างไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ร้อยละ 60 และเมื่อคำนวณด้วยสูตรของคาห์ลเบิร์กพบว่ามีความผิดพลาดมาตรฐานจากการหาค่าระยะปรับแนวตั้งด้วยการแทนค่าจากสมการคิดเป็น 0.64 มิลลิเมตร และสามารถลอกลายภาพหัวคอนดาขล้ตั้งแต่จุดสูงสุดมายังขอบหลังเรมัสซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 เซนติเมตร จากภาพรังสีพานอรามิกมายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้ร้อยละ 76

ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน
สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน
ปีการศึกษา 2546

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

447 61127 32 : MAJOR ORTHODONTICS

KEY WORD: CEPHALOMETRIC / CONDYLAR / IMAGE TRANSFER / PANORAMIC / REGRESSION

DUANGKAMON ATTAVIVAN : A METHOD TO TRANSFER CONDYLAR HEAD
IMAGE FROM PANORAMIC TO LATERAL CEPHALOMETRIC RADIOGRAPH.

THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PORNTIP CHIEWCHARAT, THESIS

COADVISOR : ASSOC. PROF. SOONTRA PANMEKIATE , Ph.D. 98 pp. ISBN 974-
17-4064-6.

Since the condylar head images in the cephalometric radiographs are frequently unclear and hard to identify, the cephalometric analysis involving anatomical landmarks on these obscured structures are usually in doubt of accuracy, sometimes the additional radiographs are needed. The aim of this study is to invent a method that can transfer condylar head image from panoramic to lateral cephalometric radiographs, and also assess the accuracy of the method invented. Regression analysis was performed to generate an equation relating cephalometric and panoramic radiographs from 100 patients. Five variables were used to build the model, namely, intercondylar distance, inter-angle of the mandible distance, lower incisor (vertical) to gonion distance, gonial angle and ramus height. The predicting variable was the vertical adjustment value in image transferring method. The equation was $\text{vertical adjustment value} = -17.739 + 0.239\text{ramus height} + 0.0784\text{gonial angle}$, of which the adjusted R square was 67.9

The model accuracy was tested by using cephalometric and panoramic radiographs from another 50 patients. Both of the vertical adjustment values from the equation and image transferring method were not statistically different ($p \leq .05$). 60% of the patients showed the differences not exceeding 0.5 mm. The standard error calculated from Dahlberg's formula was 0.64 mm. In addition, 76% of the patients had the identical outline of the condylar head from the most superior point to posterior ramus at 1 cm. below the articulare from both radiographs.

Department of Orthodontics	Student's signature.....
Field of study Orthodontics	Advisor's signature.....
Academic year 2003	Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทนตแพทย์หญิง พรทิพย์ ชิวชรัตน์ ผู้จุดประกายความคิดในการทำวิจัยครั้งนี้ และคอยให้คำปรึกษาโดยตลอด ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ทนตแพทย์ ดร. สุนทรา พันธุ์เกียรติ ที่ให้การสนับสนุนและคำแนะนำที่ดีเสมอ ขอขอบพระคุณ อาจารย์ไพพรรณ พิทยานนท์ สำหรับคำปรึกษาทางด้านสถิติ ขอขอบพระคุณกรรมการทั้งสองท่าน อาจารย์ ทนตแพทย์ สมศักดิ์ เจิงประภากรและผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทนตแพทย์ วัชร เพชรคุปต์ ที่กรุณาให้คำแนะนำและความคิดเห็นในการปรับปรุงวิทยานิพนธ์ให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาทันตกรรมจัดฟันทุกท่าน อีกทั้งขอขอบคุณเพื่อนนิสิตปริญญาโท วุฒิบัตร และผู้ช่วยทันตแพทย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดีในระหว่างการเก็บข้อมูล ขอขอบคุณนักรังสีการแพทย์ คุณสัมฤทธิ์ เกิดแก้ว สำหรับความเสียสละและมีน้ำใจช่วยเหลือในการถ่ายภาพรังสีเพื่อทำการศึกษานำร่อง รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาควิชารังสีวิทยาทุกท่าน สำหรับความตั้งใจในการทำงาน

ท้ายที่สุดนี้ ขอขอบพระคุณ คุณแม่สำหรับคำสั่งสอนและความห่วงใยที่มีเคยเสื่อมคลาย ขอขอบคุณ อาจารย์ ชัยโชค ไวกษา ผู้ให้คำแนะนำอันมีคุณค่ายิ่งสำหรับการวิจัยครั้งนี้ และเหนือสิ่งอื่นใด ขอขอบพระคุณ พระผู้เป็นเจ้า และ “เสียงเล็ก ๆ” ที่คอยนำทางข้าพเจ้ามาจนถึงทุกวันนี้ได้

ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าสิ่งที่ค้นพบในการวิจัยครั้งนี้ จะนำประโยชน์มาสู่วิทยาการทันตแพทย์ในวันข้างหน้าสืบไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่ 1 บทนำ	
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย.....	3
ข้อตกลงเบื้องต้น.....	3
ข้อจำกัดของการวิจัย.....	3
คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย.....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
การใช้หัวคอนดายล์ในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง.....	7
ปัญหาและวิธีแก้ปัญหาในการใช้หัวคอนดายล์เพื่อการวิเคราะห์ภาพรังสี.....	9
ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง.....	19
หลักเบื้องต้นของการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก.....	24
ความผันแปรของภาพที่ปรากฏบนภาพรังสีพานอรามิก.....	34
หัวคอนดายล์ในภาพรังสีพานอรามิก.....	38
การจัดตำแหน่งผู้ป่วยในการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง.....	40
การปรับค่าของรังสีเอ็กซ์.....	42
การดูภาพรังสี.....	42
การวัดในภาพรังสีพานอรามิก.....	44

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บทที่ 3	
วิธีดำเนินการวิจัย	
ประชากรและตัวอย่าง.....	48
วิธีวัดขนาดของขากรรไกรล่างจากใบหน้าผู้ป่วย.....	49
วิธีวัดขนาดขากรรไกรล่างจากภาพรังสี.....	50
วิธีการถ่ายภาพทอศภาพหัวคอนดายล์.....	51
ตัวแปรในการวิจัย.....	55
วิธีการทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้วิจัย.....	56
วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล.....	56
เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย.....	57
ปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี.....	57
บทที่ 4	
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล	
ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย.....	58
ผลการสร้างสมการทำนายค่าระยะปรับแนวคั่ง.....	58
ผลการทดสอบความถูกต้องของสมการ.....	61
บทที่ 5	
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ	
สรุปผลการวิจัย.....	63
อภิปรายผล.....	63
ข้อเสนอแนะ.....	70
รายการอ้างอิง.....	71
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก.....	78
ภาคผนวก ข.....	79
ภาคผนวก ค.....	80
ภาคผนวก ง.....	83
ภาคผนวก จ.....	86
ภาคผนวก ฉ.....	87
ภาคผนวก ช.....	94
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	98

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 1 ปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีฟานอราเมก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง.....	57
ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่ามีความแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ.....	59
ตารางที่ 3 ค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย ตัวแปรความสูงเรมัส (RAMUSPAN) และ มุมโกเนียล (GO_CEPH) มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับระยะปรับแนวคิงอย่างมีนัย สำคัญ ซึ่งเส้นตรงนี้ตัดแกน y ที่ -17.793 ค่าโทเลอแรนซ์ (tolerance) และวีไอเอฟ (VIF) มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันเอง หรือไม่เกิดปัญหามัลติโคลิเนียริตี.....	59
ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (adjusted R square) 0.679 และค่าเดอรับิน - วัตสัน (Durbin-Watson) 2.047.....	60
ตารางที่ 5 ผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากร แบบจับคู่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าระยะปรับแนวคิงที่ได้จาก 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน.....	61
ตารางที่ 6 จำนวนตัวอย่างคิดเป็นร้อยละและร้อยละสะสม แบ่งตามส่วนต่างของค่าระยะ ปรับแนวคิงที่ได้จากการถ่ายภาพทอคภาพ กับค่าคำนวณจากสมการ (มิลลิเมตร)....	62
ตารางที่ 7 ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย ด้วยการทดสอบสมมติฐาน เกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ ค่าวัดที่ทดสอบคือ ระยะระหว่างหัวคอนดาซล์ (INTERCO) ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (INTERGO) และระยะปรับแนวคิง (Y).	78
ตารางที่ 8 ผลการทดสอบการแจกแจงของค่าระยะปรับแนวคิงจากตัวอย่าง 50 คน ที่นำมาทดสอบความถูกต้องของสมการ พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติทั้งสองค่า (ค่า Y คือระยะปรับแนวคิงที่ได้จากการถ่ายภาพทอคภาพหัวคอนดาซล์ ค่า Y_EQUA คือระยะปรับแนวคิงที่ได้จากการแทนค่าในสมการถดถอย.....	79
ตารางที่ 9 ผลการทดสอบการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งพบว่ามีแจกแจงแบบปกติ.....	83
ตารางที่ 10 การวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่า RRS/2 (regression sum of square/2).....	85
ตารางที่ 11 ค่าเดอรับิน - วัตสัน ซึ่งอยู่ระหว่าง d_u ถึง $4-d_u$ คือ 1.69 ถึง 2.31 แสดงว่า ไม่มีออคอร์เรชัน หรือค่าคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน.....	85
ตารางที่ 12 ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน.....	87
ตารางที่ 13 ข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 50 คนที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ....	94

สารบัญภาพ

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 1 แสดงจุดคอนคายลืออน (Cond) เป็นจุดที่อยู่บนสุดและหลังสุดของหัวคอนคายล์.....	10
รูปที่ 2 แสดงจุดคอนคายลืออน (Co) เป็นจุดบนสุดของหัวคอนคายล์.....	11
รูปที่ 3 แสดงการกำหนดจุดคอนคายลืออนโดยลากเส้นจากจุดไซ (Xi) ผ่านจุดดี (D) จุดที่ตัดกับคอนคายล์เรียกว่าจุดคอนคายลืออน และเรียกเส้นนี้ว่า แนวแกนคอนคายล์ (Cond. Axis)	11
รูปที่ 4 แสดงการกำหนดจุดคอนคายลืออน (CO) โดยใช้ระนาบขากรรไกรล่าง (ML) เป็นระนาบอ้างอิง ซึ่งจะต้องกำหนดจุดคอนคายลืออน โพสทีเรีย (CO _p) และคอนคายลืออน ซุปพีเรีย (CO _s) ก่อน.....	13
รูปที่ 5 แสดงการกำหนดจุดคอนคายลืออน (Cd) จากระนาบบดเคี้ยวฟันหลัง (FOP) โดยใช้จุดสูงสุด (Cd ₁) และจุดหลังสุดของหัวคอนคายล์ (Cd ₂)	13
รูปที่ 6 แสดงภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างที่ได้จากการใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีนที่มีความไวสองระดับ ส่วนที่มีความไวสูงจะครอบคลุมบริเวณข้อต่อขากรรไกร.....	15
รูปที่ 7 แสดงบริเวณความชัดในการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก มีรูปร่างโค้งคล้ายเกือกม้า และมีความสูงในแนวคิ่ง.....	24
รูปที่ 8 แสดงรูปร่างและระนาบกลางของบริเวณความชัดเมื่อเปรียบเทียบกับขากรรไกรล่าง (FT คือบริเวณความชัด และ P คือระนาบกลางของบริเวณความชัด)	25
รูปที่ 9 แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของหัวหลอดรังสี (x-ray source) และฟิล์ม (film cassette) ซึ่งหมุนรอบศีรษะในทิศทางตรงข้ามกัน.....	26
รูปที่ 10 แสดงทิศทางลำแสงรังสีเอ็กซ์ในแนวคิ่ง (A) ซึ่งเป็นมุมเงยขึ้นประมาณ 8-9 องศา หรือตั้งฉากกับความเอียงของขากรรไกร(B)	26
รูปที่ 11 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ในการกำหนดขนาดและรูปร่างของบริเวณความชัด โดยที่ O คือจุดศูนย์กลางของการหมุน F คือจุดกำเนิดรังสี B คือความกว้างของลำแสงรังสีบนฟิล์ม V _B คืออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของลำแสงรังสี V _F คืออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของฟิล์ม.....	27
รูปที่ 12 ซ้าย - แสดงการวางวัตถุวัดคัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของบริเวณความชัด ขวา - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายของภาพในแนวราบและแนวคิ่งเป็นสัดส่วนกัน ทำให้ได้ภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเช่นเดิม.....	28

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 13 ซ้ายบน - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ขอบนอกของบริเวณความชัด พบว่ามีการหดในแนวราบ ซ้ายล่าง - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ขอบในของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายในแนวราบ ขวาบน - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ด้านหน้าของบริเวณความชัด พบว่ามีการหดในแนวราบมากขึ้น และภาพไม่ชัดมากขึ้น ขวาล่าง - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ด้านหลังของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายในแนวราบมากขึ้น และภาพไม่ชัดมากขึ้น.....	29
รูปที่ 14 แสดงการบิดเบี้ยวของภาพไม่เท่ากัน เมื่อวัตถุอยู่ในบริเวณความชัดที่มีความกว้างต่างกัน วัตถุ A วางอยู่บริเวณขากรรไกรล่างส่วนท้ายพื้นกรามซึ่งมีบริเวณความชัดกว้าง วัตถุ B วางอยู่บริเวณพื้นหน้าซึ่งมีบริเวณความชัดแคบ.....	30
รูปที่ 15 แสดงทิศทางการวางตัวของวัตถุมีผลต่อความชัดของภาพ.....	31
รูปที่ 16 แสดงคุณสมบัติที่บ่งชี้ของวัตถุมีผลต่อความชัดของภาพ ภาพรังสีทางซ้ายคือวัตถุโลหะ ส่วนทางขวาคือวัตถุอะคริลิก.....	32
รูปที่ 17 ซ้าย - แสดงส่วนประกอบของอินเทนซิฟายอิง สกรีน ขวา - แสดงอินเทนซิฟายอิง สกรีนคู่ซบรังสีเอ็กซ์ไว้ แล้วปล่อยแสงฟลูออเรสเซนซ์ออกมาตกกระทบกับฟิล์ม (B, C, D) ในขณะที่รังสีเอ็กซ์บางส่วน (A) ผ่านไปกระทบกับฟิล์มโดยตรง.....	33
รูปที่ 18 ภาพบนแสดงภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างของผู้ป่วยที่มีโครงสร้างใบหน้าแบบที่ 3 ภาพล่างแสดงภาพรังสีพานอรามิกซึ่งพื้นหน้าล่างอยู่ในบริเวณความชัด ส่วนพื้นหน้าบนอยู่ด้านหลังของบริเวณความชัด จึงทำให้พื้นมีขนาดกว้างกว่าปกติและไม่ชัด.....	35
รูปที่ 19 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณีที่เป็นหน้าผู้ป่วยด้านซ้ายชัดฟิล์มมากกว่าด้านขวา ขวา - แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่ปรากฏว่าอวัยวะทางด้านซ้ายหดเล็กลง ส่วนด้านขวาขยายขนาดขึ้นและไม่ชัด.....	36
รูปที่ 20 แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่เกิดจากผู้ป่วยเหยหน้าขึ้น 10 องศา ปรากฏระนาบสบฟันโค้งลง หัวคอนดาบ์ล่างออกจากมุมขากรรไกรล่างมากขึ้น และเกิดเงาของกระดูกท้ายทอยบดบังบริเวณส่วนกลางของขากรรไกรบน (ตามลูกศร)	36
รูปที่ 21 แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่เกิดจากผู้ป่วยก้มหน้าลง 10 องศา ปรากฏระนาบสบฟันโค้งขึ้น หัวคอนดาบ์ล่างออกจากมุมขากรรไกรล่างน้อยลง.....	37

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 22 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณี ที่ใบหน้าผู้ป่วยเลื่อนไปด้านหน้า 1 เซนติเมตร ขวา - แสดงภาพรังสีพานอรามิก ที่ปรากฏว่าฟันหน้าหดร่นและไมชัด.....	37
รูปที่ 23 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณี ที่ใบหน้าผู้ป่วยเคลื่อนไปด้านหลัง 1 เซนติเมตร ขวา - แสดงภาพรังสีพานอรามิก ที่ปรากฏว่าอวัยวะทุกส่วนขยายขนาดขึ้น โดยเฉพาะฟันหน้าขยายขนาดมาก และไม่ชัด.....	38
รูปที่ 24 ซ้าย - แสดงรูปร่างของคอนคายล์แบบต่าง ๆ เมื่อมองจากด้านหลัง ขวาบน - แสดงมุมของคอนคายล์ในแนวตั้ง ขวาล่าง - แสดงมุมของคอนคายล์ในแนวราบ.....	39
รูปที่ 25 บน - 1)แสดงการจัดทำผู้ป่วยที่ถูกต้องคือคอและหลังตรง 2) แสดงการจัดทำที่ ไม่ถูกต้องคือหลังโก่งและยื่นคอด้านหน้า ล่าง - แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่ ปรากฏเมื่อผู้ป่วยยื่นคอด้านหน้า คือเงาของกระดูกสันหลังจะบังทับขากรรไกร ส่วนหน้า.....	41
รูปที่ 26 เปรียบเทียบภาพบนซ้ายและขวา พบว่าเมื่อเพิ่มกิโลโวลต์ภาพรังสีมีคอนทราสต์ ต่ำลงและความดำเพิ่มขึ้น ทำให้มองเห็นรายละเอียดของฟันได้มากขึ้น แต่มองเห็น เส้นลายกระดูกได้น้อยลง เปรียบเทียบภาพบนขวาและภาพล่าง พบว่าเมื่อลดค่ามิลลิ แอมแปร์ภาพจะสว่างมากขึ้นแต่ไม่มีผลต่อคอนทราสต์ นั่นคือยังเห็นรายละเอียดของ ฟันได้เท่าเดิม และมองเห็นเส้นลายกระดูกได้ชัดเจนด้วย.....	43
รูปที่ 27 ซ้าย - แสดงช่วงกำลังขยายแนวราบในส่วนของเรมีสเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าใน ส่วนหน้าของขากรรไกร ขวา - แสดงช่วงกำลังขยายในแนวตั้งซึ่งเปลี่ยนแปลง ได้น้อย และคงที่ตลอดทั้งขากรรไกร.....	46
รูปที่ 28 แสดงการกำหนดจุดโกนีออน - เซฟ ในภาพลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริก ด้านข้าง และระยะฟันหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนีออน.....	52
รูปที่ 29 แสดงการลอกลายภาพรังสีพานอรามิก บริเวณคอนคายล์ ขอบหลังเรมีส ขอบล่าง ขากรรไกรล่างมาจนถึงจุดตัดขอบหน้าเรมีสในแนวตั้ง และการกำหนดจุดโกนีออน - พานอรามิก.....	53
รูปที่ 30 แสดงการซ้อนทับภาพลอกลายพานอรามิกด้านซ้ายและขวาโดยใช้จุดสูงสุดของ หัวคอนคายล์ ขอบหลังของคอนคายล์และขอบหลังเรมีสส่วนใต้ต่อคอนคายล์ เป็นเกณฑ์ แล้วเฉลี่ยจุดโกนีออนอีกครั้ง.....	53

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบ	หน้า
รูปที่ 31 แสดงในกรณีที่จุดสูงสุดคอนคายล์ ขอบหลังของคอนคายล์และเรมีสส่วนต้นจากภาพรังสีพานอรามิกไม่สามารถซ้อนกันได้พอดี ให้ซ้อนทับที่เส้นสัมผัสขอบหลังเรมีสและให้จุดสูงสุดคอนคายล์ทั้งสองอยู่บนเส้นตั้งฉากกับเส้นสัมผัสนี้ จากนั้นจึงเฉลี่ยจุดสูงสุดคอนคายล์ และวาดเส้นเฉลี่ยขอบหลังคอนคายล์และเรมีสส่วนต้นอีกครั้งหนึ่ง.....	54
รูปที่ 32 แสดงการซ้อนทับภาพลอกลายพานอรามิก กับเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพื่อหาระยะปรับแนวโค้ง โดยซ้อนทับที่จุดสูงสุดคอนคายล์และขอบหลังเรมีสส่วนที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลาเรย์ 1 เซนติเมตร.....	54
รูปที่ 33 แสดงการกำหนดจุดบนเส้นความสูงเรมีสห่างจากจุดโกนีออน – พานอรามิกที่เฉลี่ยครั้งสุดท้าย เท่ากับระยะที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความสูงเรมีส.....	64
รูปที่ 34 แสดงการนำภาพลอกลายพานอรามิกซ้อนทับกับภาพลอกลายเซฟาโลเมตริกที่ทำการเฉลี่ยด้านซ้ายและขวาแล้ว โดยให้จุดโกนีออน – เซฟอยู่บนเส้นตั้งฉากความสูงเรมีส และขอบหลังเรมีสที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลาเรย์ 1 เซนติเมตร ซ้อนกันได้พอดี เมื่อทำได้ดังนี้แล้ว จุดสูงสุดคอนคายล์ของเซฟาโลเมตริกที่เฉลี่ยด้านซ้ายและขวาแล้วจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดสูงสุดคอนคายล์ของพานอรามิก.....	64
รูปที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างหัวคอนคายล์และระยะปรับแนวโค้ง.....	80
รูปที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างและระยะปรับแนวโค้ง.....	80
รูปที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะพินหน้าล่างแนวโค้งถึงโกนีออนและระยะปรับแนวโค้ง.....	81
รูปที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมโกเนียลและระยะปรับแนวโค้ง.....	81
รูปที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเรมีสและระยะปรับแนวโค้ง.....	82
รูปที่ 40 แสดงแผนภาพการกระจายระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับค่าประมาณ Y พบว่าความแปรปรวนคงที่.....	84

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง (lateral cephalometric radiograph) ทางทันตกรรมจัดฟัน เป็นสิ่งที่มีประโยชน์และมีความจำเป็นในหลายด้าน ได้แก่ ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของโครงสร้างกะโหลกและใบหน้า การวินิจฉัยความผิดปกติของโครงสร้างใบหน้า และการสบฟัน การวางแผนและประเมินผลการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เป็นต้น ขั้นตอนในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ประกอบด้วยการลอกกลาย (tracing) ภาพของโครงสร้างกระดูก และกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาค (anatomical landmark) ซึ่งเป็นตัวแทนของโครงสร้างต่าง ๆ ลงบนกระดาษลอกกลาย จากนั้นทำการวัดค่ามุม ระยะทาง หรือสัดส่วนความยาว ระหว่างจุดต่าง ๆ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าปกติของประชากร หรือ เปรียบเทียบกับภาพรังสีก่อนและหลังการรักษาได้

ในส่วนของหัวคอนดายล์ ถือว่าเป็นโครงสร้างหนึ่งที่มีความสำคัญในการวิเคราะห์ภาพรังสี โดยเฉพาะการวัดความยาวของขากรรไกรล่างซึ่งมีความสำคัญในการประเมินการเจริญของขากรรไกรล่าง และติดตามผลการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชั้่นนอล นอกจากนี้หัวคอนดายล์ยังใช้ในการวินิจฉัยลักษณะหรือความผิดปกติของโครงสร้างใบหน้า และใช้ในการสร้างจุดสังเกตทางกายวิภาคอื่นด้วย

เมื่อถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง บริเวณหัวคอนดายล์มักจะมีการซ้อนทับของโครงสร้างอื่น ๆ ได้แก่ ฐานกะโหลกส่วนหลัง อันประกอบไปด้วยกระดูกสฟีนอยด์ (sphenoid bone) และส่วนเบซิลลา ของกระดูกท้ายทอย (basillar part of occipital bone) และส่วนพีทรัสของกระดูกขมับ (petrous portion of temporal bone) ทั้งสองข้าง ทำให้บริเวณนี้มีความทึบรังสีมาก จนบ่อยครั้งพบว่าไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของหัวคอนดายล์ในภาพรังสีได้อย่างชัดเจน การกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดายล์จึงทำได้ยาก ส่งผลให้การวิเคราะห์ภาพรังสีจากหัวคอนดายล์เกิดความผิดพลาดได้มากขึ้น และไม่สามารถทำได้อย่างสมบูรณ์

เนื่องจาก จุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดายล์มีความยากในการระบุตำแหน่ง จึงได้มีการคิดหาวิธีแก้ปัญหานี้ เช่น การถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพิ่มอีก 1 ภาพ โดยให้ผู้ป่วยยื่น

ขากรรไกรล่างมาข้างหน้า หรือ อ้าปากกว้าง เพื่อให้หัวคอนดอยล์เคลื่อนออกมาจากแอ่งข้อต่อขากรรไกร ไม่ถูกซ่อนทับจากโครงสร้างอื่น ๆ ก็จะทำให้มองเห็นได้ชัดเจน หรือการถ่ายภาพรังสีซ้ำโดยใช้แผ่นโลหะเจาะรูให้รูครอบคลุมบริเวณคอนดอยล์ หรือการใช้อินเทนซิฟายอิงสกรีน (intensifying screen) แบบพิเศษที่มีความไว 2 ระดับ วิธีการเหล่านี้มีข้อเสีย คือผู้ป่วยต้องได้รับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น หรือจำเป็นต้องใช้อุปกรณ์พิเศษเสริม นอกจากนี้อาจใช้วิธีหลีกเลี่ยงการใช้จุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดอยล์และหันไปใช้จุดอื่นแทน เช่น จุดอาร์ติคิวลารีย์ (articulare) ซึ่งเป็นจุดตัดกันของแนวฐานกะโหลก กับขอบของขากรรไกรล่างด้านหลัง บนภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ถึงแม้จุดนี้จะระบุตำแหน่งได้ง่าย แต่ไม่ได้เป็นจุดสังเกตทางกายวิภาคที่ปรากฏบนโครงสร้างจริง จึงไม่เป็นตัวแทนที่ดีของขากรรไกรล่าง เพราะถ้าผู้ป่วยมีการเปลี่ยนตำแหน่งของขากรรไกรล่าง จุดนี้จะมีตำแหน่งเปลี่ยนไป ดังนั้น อาร์ติคิวลารีย์ เป็นจุดที่ไม่มีความแม่นยำ (valid) ในการเป็นตัวแทนของขากรรไกรล่าง

การส่งผู้ป่วยถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างในทางทันตกรรมจัดฟัน ไม่ว่าจะเพื่อวัตถุประสงค์ในการวินิจฉัย การวางแผนการรักษา หรือการประเมินผลจากการรักษาหรือการเจริญเติบโต มักจะถ่ายภาพรังสีพานอรามิก (panoramic radiograph) ร่วมด้วยเสมอ เพื่อตรวจความผิดปกติต่าง ๆ ที่ไม่สามารถตรวจพบด้วยภาพรังสีอื่น ๆ ในการถ่ายภาพรังสีพานอรามิกนี้ ผู้ป่วยต้องยื่นขากรรไกรล่างออกมา เพื่อกีดก้านกัด (bite stick) ทำให้หัวคอนดอยล์เคลื่อนออกมาจากแอ่งข้อต่อขากรรไกร และ ลำรังสีเอ็กซ์ (x-ray beam) จะผ่านหัวคอนดอยล์ในมุมเฉียง จึงทำให้สามารถมองเห็น รูปร่างของหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีพานอรามิกได้อย่างชัดเจน ผู้วิจัยจึงเกิดแนวความคิดขึ้นว่า น่าจะสามารถใช้ภาพหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีพานอรามิกให้เป็นประโยชน์ในการกำหนดตำแหน่ง และ ถ่ายทอดภาพของหัวคอนดอยล์ มาสู่ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้ แต่เนื่องจากภาพรังสีพานอรามิกมีการขยาย (magnification) และการบิดเบี้ยว (distortion) ของภาพแตกต่างกับในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง เพราะมีเรขาคณิตของลำแสงรังสีเอ็กซ์ (geometry of the x-ray beam) แตกต่างกัน ดังนั้นในการถ่ายทอดรูปร่างของหัวคอนดอยล์จากภาพรังสีพานอรามิก มายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง จึงต้องมีขั้นตอนการวาดภาพหรือวิธีจัดกระทำภาพหัวคอนดอยล์ เพื่อให้สามารถนำภาพลอกกลายหัวคอนดอยล์จากภาพรังสีพานอรามิก มาใช้ในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้

ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษานำร่อง (pilot study) และจากการสังเกต พบว่า บริเวณด้านหลังและด้านบนของหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีพานอรามิก มีความคล้ายคลึงกับในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง แต่การขยายในแนวตั้งของหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีพานอรามิกมีมากกว่าในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ดังนั้น การถ่ายทอดภาพหัวคอนดอยล์จากภาพรังสีพานอรามิก จึงต้องการ

ข้อมูลเพิ่มเติมของระยะในแนวตั้งที่มีความเหลื่อมล้ำ (discrepancies) ของภาพอันเกิดจากการขยายของภาพรังสีทั้งสองที่ไม่เท่ากัน

ผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญของงานวิจัยนี้ โดยหาวิธีจัดกระทำภาพของหัวคอนคาสต์ เพื่อใช้สำหรับถ่ายทอดรูปร่างของหัวคอนคาสต์จากภาพรังสีพานอรามิก มายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริก ด้านข้าง ให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาคิดค้นวิธีการถ่ายทอดรูปร่างของหัวคอนคาสต์จากภาพรังสีพานอรามิก มายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง
2. เพื่อทดสอบความถูกต้องของวิธีการที่คิดค้นขึ้น

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้ศึกษาเฉพาะผู้ที่ถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องพลอนเมกา โปรสแกน (Planmeca Proscan) เท่านั้น

ข้อตกลงเบื้องต้น

1. การวัดระยะต่าง ๆ ในการวิจัยนี้ใช้ความละเอียดที่ 0.5 มิลลิเมตร
2. ทำการถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องพลอนเมกา โปรสแกน ที่คลินิกภาควิชารังสีวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
3. ถ่ายภาพรังสีโดยบุคลากรเทคนิครังสีของทางภาควิชาฯ ซึ่งเป็นผู้ควบคุมการจัดตำแหน่งผู้ป่วย และ ปริมาณรังสีที่ใช้ให้ถูกต้องเหมาะสม

ข้อจำกัดของการวิจัย

1. ผลที่ได้จากการวิจัยนี้ ไม่สามารถนำไปใช้กับการถ่ายภาพรังสีด้วยเครื่องจากบริษัทอื่น นอกจากพลอนเมกาได้
2. จำเป็นต้องมีการถ่ายภาพรังสีพานอรามิกควบคู่กับเซฟาโลเมตริกด้านข้าง จึงจะสามารถนำวิธีการจัดกระทำภาพไปใช้งานได้
3. ผู้ที่มีการสบฟันในลักษณะฟันหน้าล่างครอบฟันหน้าบนทั้งหมด จะต้องถ่ายภาพรังสีพานอรามิกให้ฟันหน้าล่างอยู่ในร่องกัด จึงจะนำภาพรังสีมาใช้ในการถ่ายทอดภาพหัวคอนคาสต์ได้

คำจำกัดความที่ใช้ในการวิจัย

1. จุดอาร์ติคิวลารี (articulare)

เป็นจุดสังเกตทางกายวิภาค (anatomical landmark) บนภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ที่เกิดจากการตัดกันของเงาภาพของขอบล่างส่วนเบซิลลาของกระดูกท้ายทอย และขอบหลังของขากรรไกรล่างที่เฉลี่ยด้านซ้ายและขวาแล้ว
2. จุดสูงสุดคอนดายล์

เป็นจุดด้านบนที่นูนที่สุดของหัวคอนดายล์ และเป็นจุดสัมผัสกับเส้นแนวนราบ (tangent to the horizontal line) โดยกำหนดในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และพานอรามิก
3. จุด โคนีออน – เซฟ

เป็นตำแหน่งบริเวณมุมขากรรไกรล่าง (angle of mandible) ในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง เกิดจากการแบ่งครึ่งมุมที่เกิดจากเส้นตัด 2 เส้น คือ เส้นที่ลากจากจุดอาร์ติคิวลารี สัมผัสขอบหลังเรมีส และเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่าง ทั้งนี้การลอกลายรูปร่างขากรรไกรล่าง จะต้องเฉลี่ยลายเส้นของด้านซ้ายและขวาแล้ว
4. จุด โคนีออน – พานอรามิก

เป็นตำแหน่งบริเวณมุมขากรรไกรล่างในภาพรังสีพานอรามิก เกิดจากการแบ่งครึ่งมุมที่เกิดจากตัดกันของเส้น 2 เส้น คือ เส้นที่ลากสัมผัสขอบหลังของคอนดายล์และเรมีส และเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่าง โดยที่ลอกลายขอบล่างขากรรไกรล่างมาถึงแนวขอบเว้าที่สุดด้านหน้าเรมีสในแนวตั้ง
5. ระยะระหว่างหัวคอนดายล์

คือระยะห่างของหัวคอนดายล์ด้านซ้ายและขวา ที่วัดด้วยเครื่องเฟซโบว์ (face-bow) จากใบหน้าผู้ป่วย
6. ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง

คือระยะห่างของมุมขากรรไกรล่างด้านซ้ายและขวาที่วัดด้วยเครื่องเฟซโบว์จากใบหน้าผู้ป่วย
7. ระยะฟันหน้าล่างแนวตั้งถึงโคนีออน

คือระยะห่างจากจุดโคนีออนในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างมายังเส้นที่ลากในแนวตั้งจากปลายฟันหน้าล่าง
8. มุม โคนีเยล (gonial angle)

คือมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่างในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง กับเส้นที่ลากจากจุดอาร์ติคิวลารี (articulare) มาสัมผัสขอบหลังขากรรไกร ซึ่งการวาดรูปร่างขากรรไกรล่างจะต้องเฉลี่ยลายเส้นของด้านซ้ายและขวาแล้ว

9. ความสูงเรมัส

เป็นเส้นที่ลากจากจุดสูงสุดคอนคายล์เฉลี่ยซ้ายและขวาในภาพรังสีพานอรามิก มายังจุดโก
นีออน – พานอรามิกที่เฉลี่ยครั้งสุดท้าย

10. ระยะปรับแนวคิง

เป็นค่าที่วัดหลังจากซ้อนทับภาพลอกกลายพานอรามิก และเซฟาโลเมตริกแล้ว กล่าวคือ เป็น
ระยะห่างระหว่างจุดโกนีออน – เซฟ และโกนีออน – พานอรามิก โดยวัดตามเส้นความสูงเรมัส

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นแนวทางที่จะใช้ในการกำหนดตำแหน่งและวาดภาพหัวคอนคายล์ในภาพรังสีเซฟาโลเม-
ตริกด้านข้าง ในกรณีที่ไม่สามารถมองเห็นได้
2. ทันตแพทย์มีความมั่นใจในการใช้จุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนคายล์ได้มากขึ้น ซึ่งเป็นจุด
ที่มีความแม่นยำตรงในการเป็นตัวแทนของขากรรไกรล่าง ไม่มีความจำเป็นต้องเล็งไปใช้จุดอื่น
เช่น อาร์ติคูลาเรย์ ซึ่งไม่ได้เป็นตัวแทนทางกายวิภาคของขากรรไกรล่าง
3. ในกรณีที่มีการส่งถ่ายภาพรังสีพานอรามิกพร้อมด้วย และ ถ้าภาพหัวคอนคายล์ในภาพรังสีเซฟา-
โลเมตริกด้านข้างไม่ชัดเจน ผู้ป่วยไม่จำเป็นต้องถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างใหม่หรือ
ถ่ายแบบอ้าปากเพิ่มอีก ทำให้ลดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ประหยัดเวลา ทรัพยากร และ
ค่าใช้จ่าย
4. การวิเคราะห์ผลการรักษาที่เกี่ยวข้องเนื่องกับการเปลี่ยนตำแหน่งของขากรรไกรล่าง เช่นการใช้
เครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชันนอล หรือ การผ่าตัดขากรรไกรล่าง มีประสิทธิภาพมากขึ้น
5. เพื่อให้สามารถนำเอาภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างที่แม้จะมองเห็นหัวคอนคายล์ไม่ชัดเจนก็ มา
ใช้ได้ในการศึกษาวิจัยที่เกี่ยวกับการวัดความยาวขากรรไกรล่างแบบเก็บข้อมูลย้อนหลังและ
ไม่ได้ถ่ายแบบอ้าปากไว้
6. เป็นแนวทางในการศึกษาต่อ เพื่อให้สามารถคิดค้นวิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนคายล์ที่มีความ
แม่นยำสูงต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

ตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยมาจากผู้ป่วยที่มารับการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน จากภาควิชา
ทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จำนวนทั้งหมด 150 คน เก็บ
ตัวอย่างตามลำดับที่ถ่ายภาพรังสี แบ่งตัวอย่างทั้งหมดออกเป็น 2 กลุ่ม คือ 100 คนแรก ใช้ใน

การศึกษาคิดค้นวิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาซล์ และอีก 50 คนต่อมา ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของวิธีที่คิดค้นได้

การศึกษาคิดค้นวิธีถ่ายทอดภาพหัวคอนดาซล์จากตัวอย่างจำนวน 100 คน ใช้วิธีการสร้างสมการทำนายค่าระยะปรับแนวตั้งจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (multiple regression) ร่วมกับวิธีจัดกระทำภาพหัวคอนดาซล์ในภาพรังสีพานอรัมิก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ในการวิเคราะห์นี้ ใช้ตัวแปรอิสระ 5 ตัวแปร คือ ระยะระหว่างคอนดาซล์ ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ระยะพื้นหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนีออน มุมโกเนียล และ ความสูงเรมัส

การทดสอบความถูกต้องของสมการทำนายค่าจากตัวอย่างจำนวน 50 คน ทำโดยการเปรียบเทียบค่าระยะปรับแนวตั้งที่หาได้จริงจากการจัดกระทำภาพหัวคอนดาซล์ กับค่าระยะปรับแนวตั้งที่ได้จากการแทนค่าสมการ ด้วยการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบจับคู่ (paired t-test) และสูตรของดาห์ลเบิร์ก (Dahlberg's formula)

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

เสนอผลการวิจัยโดยเริ่มจากแสดงสมการทำนายค่าระยะปรับแนวตั้ง พร้อมทั้งค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ จากนั้นจึงแสดงผลการทดสอบความถูกต้องของสมการที่นำมาทดสอบกับผู้ป่วยอีก 50 คน โดยใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยสองประชากรแบบจับคู่ ค่าความผิดพลาดมาตรฐานจากสูตรของดาห์ลเบิร์ก และ จัดแสดงเป็นอันตรภาคชั้นของความถี่และความถี่สะสมของลำดับชั้นของความผิดพลาด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเป็นสิ่งจำเป็นและมีประโยชน์ทางทันตกรรม จัดฟันหลายด้าน ได้แก่ ใช้ในการศึกษาการเจริญเติบโตของโครงสร้างกะโหลกศีรษะและใบหน้า การวินิจฉัยความผิดปกติของโครงสร้างใบหน้า และการสบฟัน ตลอดจนการวางแผนและประเมินผลการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน เป็นต้น จุดสังเกตทางกายวิภาคที่ใช้ในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างจึงเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องการการกำหนดจุดให้ถูกต้องแม่นยำ เพื่อให้ได้ค่ามุมและค่าระยะทางที่สามารถวินิจฉัยความผิดปกติของส่วนต่าง ๆ ได้ หัวคอนดอยล์เป็นลักษณะทางกายวิภาคที่สำคัญในการวิเคราะห์ต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียดที่จะกล่าวต่อไป

การใช้หัวคอนดอยล์ในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง

ผู้เชี่ยวชาญหลายท่านกำหนดแบบแผนในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างไว้ต่าง ๆ กัน โดยใช้จุดสังเกตทางกายวิภาคบริเวณหัวคอนดอยล์ ได้แก่ การวิเคราะห์ของ McNamara¹ ซึ่งใช้จุดคอนดอยลิออน (condylion, Co) ในการหาความยาวของขากรรไกรล่างโดยวัดจากคอนดอยลิออนไปยังแกนนอน (gnathion, Gn) และ หาความยาวของใบหน้าส่วนกลาง โดยวัดจากคอนดอยลิออนไปยังจุดเอ (point A) ค่าความยาวของขากรรไกรล่างและใบหน้าส่วนกลางนี้ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน สามารถใช้ในการวินิจฉัยและวางแผนการรักษาได้

Ricketts² ได้ใช้จุดต่าง ๆ บนหัวคอนดอยล์ในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างด้วยเช่นกัน คือ ใช้จุดคอนดอยลิออน โปสทีเรีย (condylion posterior, Cp) ในการหาความยาวฐานกะโหลกส่วนหลัง โดยวัดจากจุดคอนดอยลิออน โปสทีเรีย มายังแนวเส้นคล้ายปีกแนวตั้ง (pterygoid vertical) ค่าความยาวฐานกะโหลกส่วนหลังนี้ได้มีการจัดทำค่าปกติของประชากรไว้สำหรับเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากผู้ป่วย ซึ่งโดยปกติแล้วความยาวฐานกะโหลกส่วนหลังจะยาวขึ้นปีละ 0.5 มิลลิเมตร สำหรับจุดคอนดอยลิออนนั้น ใช้สร้างแนวแกนคอนดอยล์ (condyle axis)³ ที่ลากจากจุดคอนดอยลิออนถึงจุดไซ (Xi Point) ซึ่งมีความสำคัญในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการรักษา หรือการเจริญเติบโตจากภาพรังสีที่ถ่ายเป็นระยะ ๆ โดยซ้อนทับบนแนวแกนคอร์ปัส (corpus axis) ที่จุดโพรทิวเบอร์แรนซ์ เมนทาย (protruberance menti) สำหรับการวินิจฉัยจากภาพรังสีภาพเดียวจะใช้แนวแกนคอนดอยล์ในการประเมินรูปร่างภายในของขากรรไกรล่าง (internal form of the mandible) หรือการโค้งงอของขากรรไกรล่าง (mandibular bend) โดยวัดมุม

ประชิด (reflex angle) ที่เกิดจากการตัดกันของแนวแกนคอนดายล์ กับแนวแกนคอร์ปัส แล้วนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานคือ 19 องศาเมื่ออายุ 3 ปี และเพิ่มขึ้น 0.6 องศาทุกปีจนร่างกายเจริญเต็มที่ นอกจากนี้ยังพบว่าความยาวแนวแกนคอนดายล์ กับแนวแกนคอร์ปัส มีค่าเป็นสัดส่วน 1:1.618 หรือที่เรียกว่าโกลเดน เซกชัน (golden section) ซึ่งบ่งบอกถึงสัดส่วนใบหน้าที่ได้สมดุลและสวยงาม

การรักษาผู้ป่วยด้วยวิธีปรับเปลี่ยนการเจริญเติบโต (growth modification) เพื่อกระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่าง สำหรับผู้ป่วยที่มีโครงสร้างใบหน้าแบบที่ 2 ด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟังก์ชันนอล (functional appliance) อาศัยหลักการที่ว่า เมื่อขากรรไกรล่างถูกจัดให้อยู่ในตำแหน่งที่ยื่นมาข้างหน้าแล้ว แรงดึงจากกล้ามเนื้อจะเหนี่ยวนำให้คอนดายล์มีการเจริญมากขึ้น ส่งผลให้ขากรรไกรล่างมีความยาวทั้งหมดเพิ่มขึ้น เป็นการแก้ไขปัญหาขากรรไกรล่างเล็กผิดปกติได้ ดังนั้นการประเมินผลหรือติดตามผลการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟังก์ชันนอล จะต้องใช้การวัดความยาวขากรรไกรล่างจากหัวคอนดายล์ถึงบริเวณคาง ซึ่งสามารถวัดได้หลายวิธี ได้แก่ ความยาวขากรรไกรล่างมากที่สุด⁴ (maximum mandibular length) คือ ระยะจากคอนดายล์ถึงคางมากที่สุดที่วัดได้ หรือใช้การวัดจากจุดคอนดายล์เออนถึงจุดสังเกตทางกายวิภาคบริเวณคาง⁵ ได้แก่ โปโกเนียน (pogonion) หรือ แกนธอน (gnathion)

Pancherz⁴ ได้กำหนดจุดบนเส้นความยาวขากรรไกรล่างมากที่สุด จุดที่ตัดกับซิมฟายซิส (symphysis) เรียกว่าโปรแกนธอน (prognathion) ส่วนจุดที่ตัดกับหัวคอนดายล์ เรียกว่าคอนดายล์ (condyle) มุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นโปรแกนธอน - คอนดายล์ กับระนาบขากรรไกรล่าง เรียกว่า มุมเบต้า (β - angle) บ่งบอกถึงลักษณะรูปร่างของขากรรไกรล่าง (mandibular configuration)

การวัดความยาวของขากรรไกรล่างมีความจำเป็นในการศึกษาการเจริญเติบโต เช่น การศึกษาการเร่งอัตราเร็วในภาวะการเจริญเติบโตสู่วัยเริ่มเจริญพันธุ์ (pubertal spurt) หรือเปรียบเทียบการเจริญของขากรรไกรล่างกับร่างกายเป็นต้น การศึกษาในเรื่องการเจริญเติบโตนี้ นอกจากจะวัดความยาวของขากรรไกรล่างในแนวหน้า - หลังแล้ว ยังมีการวัดความสูงของขากรรไกรล่างในแนวตั้งด้วย โดยวัดจากคอนดายล์เออนถึงโกเนียน⁵

นอกจากนี้ ยังมีการใช้หัวคอนดายล์ช่วยสร้างจุดสังเกตทางกายวิภาคตำแหน่งอื่น ๆ อีก ได้แก่ การสร้างจุดโกเนียน (gonion) ซึ่งเป็นตัวแทนของมุมขากรรไกรล่าง (angle of mandible)

กำหนดจุดโดยอาศัยการลากเส้นสัมผัสส่วนหลังของขากรรไกรล่าง ตั้งแต่หัวคอนดอยล์ลงมาถึงเรมีส (ramus)

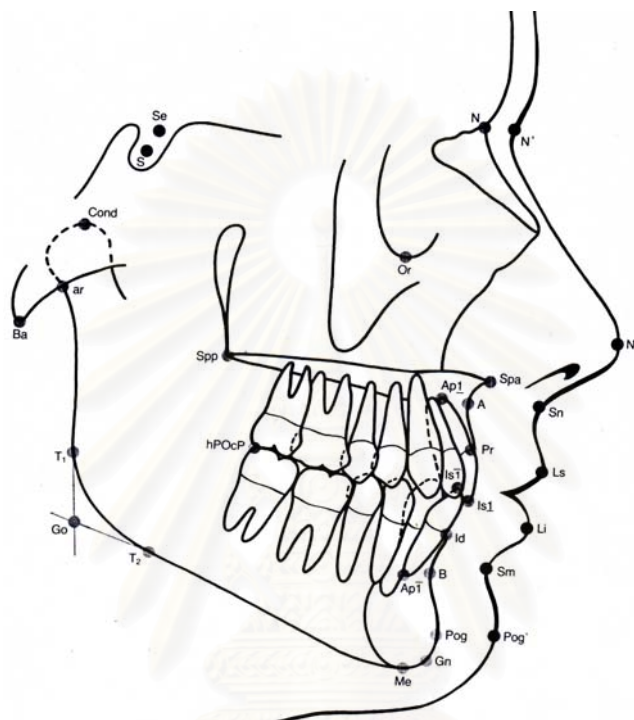
ปัญหาและวิธีแก้ปัญหาในการใช้หัวคอนดอยล์เพื่อการวิเคราะห์ภาพรังสี

จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่าหัวคอนดอยล์เป็นโครงสร้างมีความสำคัญในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคและการวัดค่าต่าง ๆ บนภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง เพื่อใช้ในการศึกษาวิจัย การวินิจฉัย การวางแผนการรักษา การติดตามผลการรักษา และการประเมินการเจริญเติบโต แต่การระบุตำแหน่งของหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเป็นสิ่งที่กระทำได้อย่างยาก เพราะบริเวณหัวคอนดอยล์จะมีโครงสร้างอื่นมาซ้อนทับ คือ กระดูกสฟีนอยด์ (sphenoid bone) ส่วนเบซิลลา ของกระดูกท้ายทอย (basillar part of occipital bone) และส่วนพีทรัส ของกระดูกขมับ (petrous portion of temporal bone) ทั้งสองข้าง ทำให้บริเวณนี้มีความทึบรังสีมากจนไม่สามารถมองเห็นรูปร่างของหัวคอนดอยล์ในภาพรังสีได้อย่างชัดเจน จึงทำให้การกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดอยล์ไม่สามารถกระทำได้อย่างถูกต้องเที่ยงตรง ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดในการวัดค่าต่าง ๆ ตามมา^{4,6,7}

Baumrind และ Frantz⁸ ได้กล่าวถึงสาเหตุของความผิดพลาดในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคบนภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ว่าเกิดจาก 3 ปัจจัย คือ

1. ตำแหน่งของจุดสังเกตทางกายวิภาค
ถ้าเป็นจุดที่อยู่ริมขอบกระดูก หรือ โครงสร้างที่เป็นมุมแหลม มีโอกาสกำหนดจุดผิดพลาดได้น้อยกว่า จุดที่อยู่บนกายวิภาคที่เป็นเส้นโค้ง เช่นปลายฟันหน้า มีโอกาสกำหนดจุดผิดพลาดได้น้อย ในขณะที่ จุดต่าง ๆ บนหัวคอนดอยล์มีโอกาสกำหนดผิดพลาดได้มากกว่า
2. ความชัดเจนของโครงสร้างในภาพรังสี
จุดที่ต้องกำหนดบนโครงสร้างที่มีกระดูกส่วนอื่น ๆ ล้อมรอบหรือซ้อนทับจะกำหนดจุดให้ถูกต้องได้ยาก เพราะ มักจะมองเห็นได้ไม่ชัดเจน การกำหนดจุดประเภทนี้ ถ้าทำโดยผู้ที่ประสบการณ์มากจะสามารถระบุตำแหน่งจุดได้ผิดพลาดน้อยลง
3. ความชัดเจนของนิยาม
จุดที่มีนิยามไม่ชัดเจนมีโอกาสกำหนดผิดพลาดได้มาก การบ่งบอกว่าจุดที่อยู่หน้าที่สุดหรือหลังที่สุดควรระบุให้ชัดเจนว่า เมื่อเทียบกับอะไร⁹ การกำหนดนิยามของจุดให้มีความแน่ชัดเป็นการช่วยลดความผิดพลาด ทำให้การวิเคราะห์ภาพรังสีมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น^{10,11}

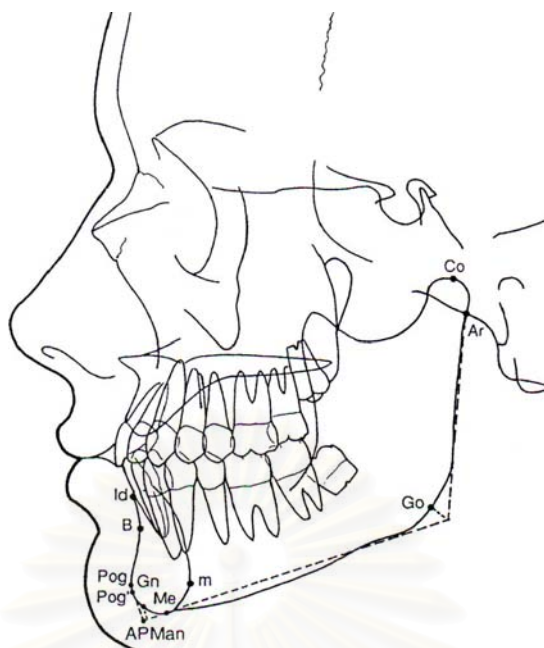
จุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนค้ายล์ที่ใช้มากที่สุด คือจุดคอนค้ายล์ออน นิยามของจุดคอนค้ายล์ออน คือ จุดที่อยู่บนสุดและหลังสุดของหัวคอนค้ายล์^{1,10,12} (รูปที่ 1)หรือจุดบนสุดของหัวคอนค้ายล์^{7,13,14} (รูปที่ 2) ซึ่งในทางปฏิบัติแล้วเป็นจุดที่กำหนดได้ยาก เพราะนอกจากหัวคอนค้ายล์มักถูกบดบังด้วยฐานกะโหลกทำให้มองเห็นไม่ชัดแล้ว ลักษณะทางกายวิภาคของหัวคอนค้ายล์ยังมีลักษณะโค้ง ทำให้การกำหนดจุดมีความไม่แน่นอน Pancherz⁴ แนะนำว่าจุดคอนค้ายล์ออนอาจมี



รูปที่ 1 แสดงจุดคอนค้ายล์ออน (Cond) เป็นจุดที่อยู่บนสุดและหลังสุดของหัวคอนค้ายล์ จาก Rakosi, T.;Jonas, I., and Graber, T. M. cephalometric analysis of the lateral radiograph. In Rateitschak, K. H. and H. F. Wolf (eds.), Orthodontic diagnosis: color atlas of dental medicine, p. 180. Stuttgart: Thieme Medical Publisher, 1993.

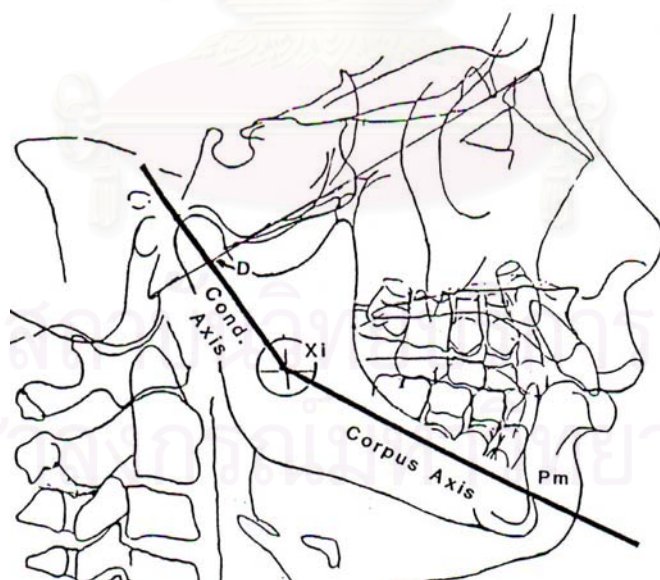
การเปลี่ยนตำแหน่งได้เมื่อมีการหมุนของขากรรไกรล่าง ดังนั้นเมื่อต้องการวัดความยาวขากรรไกรล่างควรใช้ความยาวมากที่สุดที่วัดได้จากหัวคอนค้ายล์ถึงคาง หรือที่เรียกว่า ความยาวขากรรไกรล่างมากที่สุด

McNamara¹ กล่าวว่าถึงแม้การกำหนดจุดคอนค้ายล์ออนจะทำได้ยาก แต่ก็ไม่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์ตามแบบแผนของเขา เนื่องจากการวิเคราะห์นี้จะใช้การเปรียบเทียบความยาวของขากรรไกรล่าง และใบหน้าส่วนกลาง ซึ่งวัดจากจุดคอนค้ายล์ออนเหมือนกัน ดังนั้นความผิดพลาดอันเนื่องมาจากการกำหนดจุดจึงถูกหักล้างไปได้



รูปที่ 2 แสดงจุดคอนดัยลิออน (Co) เป็นจุดบนสุดของหัวคอนดัยล์

จาก Viteporn, S., and Athanasiou, A. E. Anatomy, radiographic anatomy and cephalometric landmarks of craniofacial skeleton, soft tissue profile, dentition, pharynx and cervical vertebrae. In Athanasiou, A. E. (ed) Orthodontic cephalometry, p.44. London: Mosby-Wolfe, 1995.

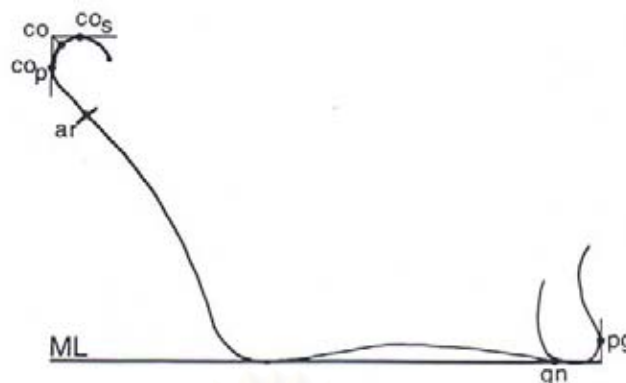


รูปที่ 3 แสดงการกำหนดจุดคอนดัยลิออน โดยลากเส้นจากจุดไซ (Xi) ผ่านจุดดี (D) จุดที่ตัดกับคอนดัยล์เรียกว่าจุดคอนดัยลิออน และเรียกเส้นนี้ว่า แนวแกนคอนดัยล์ (Cond. Axis)

จาก Ricketts, R. M. Progressive cephalometric paradigm 2000, p.35. Arizona: American Institute for Bioprogressive Education, 1996.

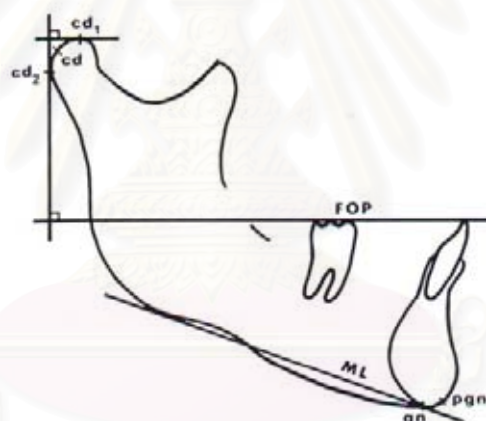
Ricketts³ ก็เช่นเดียวกัน เขากล่าวว่า คอนคายนอนเป็นจุดที่กำหนดได้ยาก ดังนั้นเขาจึงหาวิธีที่ช่วยให้กำหนดจุดนี้ได้แม่นยำขึ้น โดยแบ่งครึ่งเส้น เบซิออน – นาซิออน (Basion – Nasion) เฉพาะส่วนที่ตัดกับคอกของคอนคายนอน จะได้เป็นจุด ดี (point D) จากนั้นลากเส้นจากจุดไซ่ผ่านจุดดีจนถึงคอนคายนอน จุดที่ตัดกับคอนคายนอนจะได้เป็น จุดคอนคายนอน (รูปที่ 3)

Stickel และ Pancherz¹⁵ ได้ให้นิยามในการกำหนดจุดคอนคายนอนให้ชัดเจนเพื่อให้สามารถกำหนดจุดได้แม่นยำขึ้น โดยใช้ระนาบขากรรไกรล่าง (mandibular plane) เป็นระนาบอ้างอิง การกำหนดจุดคอนคายนอนด้วยวิธีนี้จะต้องกำหนดจุดคอนคายนอน โพสทีเรีย และ ซุปพีเรีย (superior) ก่อน จุดคอนคายนอน โพสทีเรียเป็นจุดหลังสุดบนหัวคอนคายนอนที่กำหนดโดยเส้นสัมผัสที่ตั้งฉากกับระนาบขากรรไกรล่าง ส่วนจุดคอนคายนอน ซุปพีเรีย เป็นจุดบนสุดบนหัวคอนคายนอนที่กำหนดโดยเส้นสัมผัสที่ขนานกับระนาบขากรรไกรล่าง จากนั้นจึงกำหนดจุดคอนคายนอน โดยแบ่งครึ่งมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นสัมผัสทั้งสอง (รูปที่ 4) Forsberg และ Odenrick¹⁶ เสนอนิยามในการกำหนดจุดคอนคายนอนด้วยวิธีที่คล้ายกับของ Stickel และ Pancherz กล่าวคือ ใช้ระนาบบดเคี้ยวฟันหลัง (functional occlusal plane) เป็นระนาบอ้างอิง ลากเส้นสัมผัสขอบบนและขอบหลังของหัวคอนคายนอนให้ขนานและตั้งฉากกับระนาบบดเคี้ยว ตามลำดับ จากนั้นจึงแบ่งครึ่งส่วนโค้งของหัวคอนคายนอนระหว่างจุดบนสุดและหลังสุด ได้เป็นจุดคอนคายนอน (รูปที่ 5)



รูปที่ 4 แสดงการกำหนดจุดคอนคายลิออน (CO) โดยใช้ระนาบขากรรไกรล่าง (ML) เป็นระนาบอ้างอิง ซึ่งจะต้องกำหนดจุดคอนคายลิออน โปสทีเรีย (CO_p) และ คอนคายลิออน ซุปพีเรีย (CO_s) ก่อน

จาก Stickel, A., and Pancherz, H. Can 'articulare' be used in the cephalometric analysis of mandibular length? A methodologic study. *Eur J Othod* 10 (1988): 363.



รูปที่ 5 แสดงการกำหนดจุดคอนคายลิออน (Cd) จากระนาบขาคิ้วฟันหลัง (FOP) โดยใช้จุดสูงสุด (Cd₁) และจุดหลังสุดของหัวคอนคายลิ (Cd₂)

จาก Forsberg, C., and Odenrick, L. Identification of the cephalometric reference point condylion on lateral head films. *Angle Orthod* 59 (1989): 125.

ถึงแม้ว่าจะมีการนิยามการกำหนดจุดคอนคายลิออนให้ชัดเจนขึ้นแล้ว แต่ถ้าหัวคอนคายลิ ถูกโครงสร้างอื่นบดบังจนไม่สามารถวาดหัวคอนคายลิได้เลย ก็ยังไม่สามารถที่จะกำหนดจุดใด ๆ บนหัวคอนคายลิได้ จึงได้มีผู้เสนอวิธีแก้ปัญหาเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของหัวคอนคายลิในภาพรังสีได้อย่างถูกต้อง โดยเริ่มจากการศึกษาของ Ricketts ในปีค.ศ. 1950 และ 1953 พบว่า ตำแหน่งของหัวคอนคายลิมีความสัมพันธ์กับระนาบแฟรงเฟิร์ต (Frankfort plane) กล่าวคือ ในปี 1950¹⁷ เขาพบว่าหัวคอนคายลิจะอยู่ต่ำกว่าแอ่งข้อต่อขากรรไกรเฉลี่ยแล้วประมาณ 2.5 มิลลิเมตร

ส่วนในปี 1953¹⁸ พบว่าในคนที่สบฟันเป็นปกติจะมีจุดลึกสุดของแอ่งข้อต่อขากรรไกรอยู่สูงจากระนาบแฟรงเฟิร์ต 2.5 ± 1.4 มิลลิเมตร คนที่มีการสบฟันผิดปกติแบบที่สองจะมีจุดลึกสุดของแอ่งข้อต่อขากรรไกรอยู่สูงจากระนาบแฟรงเฟิร์ต 1.5 ± 1.9 มิลลิเมตร ส่วนคนที่มีการสบฟันผิดปกติแบบที่สามจะมีจุดลึกสุดของแอ่งข้อต่อขากรรไกรอยู่สูงจากระนาบแฟรงเฟิร์ต 4.4 ± 1.8 มิลลิเมตร จากการศึกษาทั้งสองนี้ ทำให้สรุปได้ว่าคนที่มีการสบฟันเป็นปกติมักจะมีจุดบนสุดของหัวคอนคายน้อยกว่าระนาบแฟรงเฟิร์ตพอดีหรือ ± 1.4 มิลลิเมตร ส่วนผู้ป่วยที่มีการสบฟันผิดปกติแบบที่สองจะมีหัวคอนคายน้อยกว่าระนาบแฟรงเฟิร์ต 1.0 ± 1.9 มิลลิเมตร และในผู้ป่วยที่มีการสบฟันผิดปกติแบบที่สามหัวคอนคายน้อยกว่าระนาบแฟรงเฟิร์ต 1.9 ± 1.8 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามยังมีข้อถกเถียงกันในเรื่องของความเที่ยงในการใช้ระนาบแฟรงเฟิร์ตโดย Savara และ Takeuchi¹⁹ กล่าวว่า การกำหนดจุดโพรีออน (porion) ซึ่งเป็นจุดบนสุดของรูหนอกเกลี้ยด้านซ้ายและขวาได้ยาก เพราะมักถูกบดบังด้วยเอียร์ ร็อด (ear rod) และโครงสร้างบริเวณฐานกะโหลกซึ่งมีความทึบรังสีมาก จึงแนะนำให้ใช้จุดโพรีออนเป็นจุดสูงสุดของเอียร์ ร็อดแทน ซึ่งจุดสูงสุดของเอียร์ ร็อด ก็เป็นจุดเดียวกันกับจุดสูงสุดของรูหนอกนั่นเอง ส่วน Ricketts³ ให้ความเห็นว่าไม่สามารถใช้เอียร์ ร็อดในการกำหนดจุดโพรีออนได้ เพราะ ตำแหน่งของเอียร์ ร็อดขึ้นอยู่กับเนื้อเยื่ออ่อนของรูหูซึ่งมีความผันแปร (variation) มาก จากการศึกษานี้เขากล่าวว่าเอียร์ ร็อดอยู่ห่างจากโพรีออนได้มากกว่า 1 เซนติเมตร และพบว่าผู้ป่วยเพดานโหว่รายหนึ่งมีจุดโพรีออนอยู่ห่างจากเอียร์ ร็อดถึง 17 มิลลิเมตร ดังนั้น Ricketts จึงสนับสนุนให้ใช้จุดโพรีออนจากรูหนอกในการลากระนาบแฟรงเฟิร์ต

ต่อมาได้มีการเสนอให้ถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งภาพ โดยให้ผู้ป่วยอ้าปากกว้าง^{4,7} หรือ ยื่นขากรรไกรล่างออกมาข้างหน้า²⁰ เพื่อให้หัวคอนคายน้อยเคลื่อนออกมาจากแอ่งข้อต่อขากรรไกรโดยไม่ถูกบดบังด้วยการซ้อนทับจากเงาของฐานกะโหลก วิธีการวาดหัวคอนคายน้อยทำได้โดยลอกฉายภาพขากรรไกรล่างรวมทั้งหัวคอนคายน้อยจากภาพรังสีขณะผู้ป่วยอ้าปาก แล้วนำมาซ้อนทับกับภาพรังสีขณะกัดฟัน โดยซ้อนทับที่ขอบหลังและขอบล่างของเรมัส จากนั้นก็สามารถที่จะวาดภาพหัวคอนคายน้อยได้ ส่วนระยะห่างของหัวคอนคายน้อยด้านซ้ายและขวา สามารถประเมินได้จากตำแหน่งของจุดโกนีออนด้านซ้ายและขวา ด้วยวิธีนี้ Adenwalla และคณะ²¹ Forsberg และ Odenrick¹⁶ Moore และคณะ¹² ได้ทำการทดสอบความแม่นยำในการกำหนดจุดคอนคายน้อยในภาพรังสีขณะกัดฟันเพียงอย่างเดียวกับการใช้ภาพรังสีขณะอ้าปากร่วมด้วย พบว่าการถ่ายภาพรังสีขณะอ้าปากร่วมด้วยนั้น จะทำให้การกำหนดจุดคอนคายน้อยมีความแม่นยำมากขึ้น แต่มีข้อเสียคือ ผู้ป่วยต้องรับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น และถ้าหากต้องการทำการศึกษาวิจัยแบบเก็บข้อมูลย้อนหลังจะไม่สามารถกระทำได้ในภาพรังสีที่มองเห็นหัวคอนคายน้อยไม่ชัด เนื่องจากการถ่ายภาพรังสีขณะอ้าปากไม่ใช่มาตรฐานในการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง^{22,23} นอกจากนี้การถ่ายภาพรังสีขณะอ้าปากไม่ได้เป็นเครื่องยืนยันว่าจะมองเห็นหัวคอนคายน้อยชัดเจนทุกราย เพราะ

ถ้าหากฐานกะโหลกและส่วนพีทรัสคบบังลงมาถึงคอของคอนดอยล์ร่วมกับมีความที่บวมที่รังสีมากแล้ว เมื่ออ้าปากหัวคอนดอยล์อาจยังถูกบดบังอยู่²³ อีกทั้งขณะอ้าปาก ขากรรไกรล่างจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากตำแหน่งสบฟัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของภาพที่ปรากฏบนภาพรังสีได้ เมื่อนำภาพขากรรไกรล่างจากภาพรังสีทั้งสองมาซ้อนทับกันอาจไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิทเสมอไป⁷

นอกเหนือจากการถ่ายภาพรังสีแบบอ้าปากหรือยื่นขากรรไกรแล้ว ยังมีวิธีการแก้ปัญหาโดยเทคนิคการถ่ายภาพรังสีต่าง ๆ ได้แก่ วิธีการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างโดยมีแผ่นโลหะกั้นที่เสนอโดย Martinoni⁶ เขาได้คิดค้นวิธีการถ่ายภาพรังสีแบบใหม่ 2 วิธี เพื่อให้มองเห็นบริเวณหัวคอนดอยล์ ฐานกะโหลกส่วนกลางและส่วนหลังชัดเจนขึ้น หลักการของวิธีที่คิดค้นขึ้นมานี้ คือการให้บริเวณส่วนพีทรัสของกระดูกขมับซึ่งมีความทึบของกระดูกมากได้รับปริมาณรังสีมากกว่าบริเวณอื่น ๆ เพื่อให้สามารถมองเห็นอวัยวะต่าง ๆ ในบริเวณนี้ได้ชัดเจนขึ้น วิธีที่ 1 ใช้การถ่ายภาพรังสี 2 ครั้ง กล่าวคือในการถ่ายครั้งแรกจะใช้แผ่นตะกั่วหนา 2 มิลลิเมตร ขนาดเท่าฟิล์มเจาะเป็นรูให้รังสีผ่านได้เฉพาะบริเวณส่วนพีทรัส บังส่วนอื่นของใบหน้าและกะโหลกศีรษะของผู้ป่วยไว้ ถ่ายรังสีโดยใช้ค่ากิโลโวลต์เพิ่มขึ้นจากปกติประมาณร้อยละ 60 และใช้เวลาในการถ่ายมากกว่าปกติ 2 เท่า จากนั้นเอาแผ่นตะกั่วออก แล้วถ่ายภาพรังสีซ้ำอีกครั้งด้วยกิโลโวลต์และระยะเวลาปกติ เทคนิคนี้มีข้อเสียคือ ถ้าผู้ป่วยไม่อยู่นิ่งตลอดการถ่ายทั้งสองครั้งแล้ว ภาพที่ได้จะไม่ชัดและมีการบิดเบี้ยวไป ส่วนวิธีที่ 2 ใช้การถ่ายรังสีครั้งเดียว โดยใช้แผ่นทองแดงหนา 1



รูปที่ 6 แสดงภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างที่ได้จากการใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีนที่มีความไวสองระดับ ส่วนที่มีความไวสูงจะครอบคลุมบริเวณข้อต่อขากรรไกร

จาก O'Ryan, F. S., and Croall, D. V. Enhancement of the TMJ region in lateral cephalograms. *J Clin Orthod* 21 (January 1987): 60-62.

มิลลิเมตร กั้นอวัยวะบริเวณอื่นที่นอกเหนือจากบริเวณส่วนพีทรัสเอาไว้ แล้วถ่ายภาพรังสีด้วยกิโวลต์ และระยะเวลาเท่ากับการถ่ายภาพครั้งแรกของวิธีที่ 1 วิธีนี้มีข้อเสียคือ อวัยวะส่วนที่ถูกแผ่นทองแดงบังอาจได้รับปริมาณรังสีน้อยเกินไปทำให้ภาพไม่ชัด และโดยรวมแล้วทั้งสองวิธีทำให้ผู้ป่วยต้องรับปริมาณรังสีเพิ่มขึ้น

ต่อมา O’Ryan และ Croall²⁴ ได้ออกแบบอินเทนซิฟายอิง สกรีน (intensifying screen) ที่มีความไวสองระดับ โดยมีอินเทนซิฟายอิง สกรีนความไวสูงอยู่บริเวณข้อต่อขากรรไกร ส่วนบริเวณอื่นเป็นอินเทนซิฟายอิง สกรีนที่มีความไวปานกลาง เพื่อให้ได้ภาพที่สามารถมองเห็นบริเวณข้อต่อขากรรไกรได้ชัดเจนขึ้นจากการถ่ายภาพรังสีเพียงครั้งเดียว (รูปที่ 6) เทคนิคนี้ต่อมาได้มีการทำเป็นแคสเซตต์ (cassette) สำเร็จรูปขึ้น เรียกว่า TMJ Orthoceph Slimline Cassette System (TOSCS) ซึ่งมีอินเทนซิฟายอิง สกรีนแบบแรเอิร์ท (rare-earth) ที่มีความไวสูงเป็นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร เฉพาะบริเวณข้อต่อขากรรไกร Braun²⁵ และ Hickman และคณะ²⁶ ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของ TOSCS พบว่าสามารถทำให้มองเห็นหัวคอนดอยล์และแอ่งข้อต่อขากรรไกรได้ชัดเจนขึ้น ส่วนการศึกษาของ Wakoh และคณะ²⁷ พบว่าถึงแม้การใช้ TOSCS จะทำให้มองเห็นภาพชัดขึ้นจากการที่ภาพมีความดำเพิ่มขึ้นโดยไม่เสียคอนทราสต์ (contrast) แต่การใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีนที่มีความไวสูงจะทำให้ความละเอียดและคมชัดของภาพลดลง

นอกจากการแก้ปัญหาการมองเห็นหัวคอนดอยล์ไม่ชัดจากเทคนิคการถ่ายภาพรังสีแล้วยังมีวิธีอื่นอีก คือ หลีกเลี่ยงการใช้จุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนดอยล์ และหันมาใช้จุดอาร์ติคิวลารีย์ (articulare) แทน จุดอาร์ติคิวลารีย์นี้ไม่ได้เป็นตำแหน่งทางกายวิภาคอย่างแท้จริง แต่เป็นจุดตัดกันของเงาภาพรังสีของส่วนเบซิลลา ของกระดูกท้ายทอย (basilar part of occipital bone) กับขอบหลังของขากรรไกรกลางในขณะที่การสบฟันอยู่ในตำแหน่งความสัมพันธ์ในศูนย์กลาง (centric relation) นิยามนี้ถูกกำหนดโดย Bjork²⁸ ซึ่งเป็นผู้เริ่มใช้จุดอาร์ติคิวลารีย์เป็นคนแรก แต่สาเหตุที่แท้จริงในการใช้จุดอาร์ติคิวลารีย์ไม่ได้เกิดจากความต้องการในการหลีกเลี่ยงการใช้จุดบนคอนดอยล์แต่อย่างใด ในทางตรงกันข้ามกลับเป็นความต้องการในการหาจุดที่เป็นตัวแทนของฐานกะโหลกส่วนหลัง เนื่องจากก่อนหน้านี้ตัวแทนของฐานกะโหลกส่วนหลัง คือจุดโบลตัน (Bolton point) ระบุตำแหน่งได้ยาก ต่อมามีการใช้จุดเบซิออน (basion) ทดแทน ก็มักจะถูกเอียร์ ร็อด (ear rod) ซึ่งในสมัยนั้นใช้เป็นก้านโลหะที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่บังคับอยู่เสมอ ส่วนการใช้ระนาบแฟรงเฟิร์ต (Frankfort plane) ก็มีปัญหาที่ไม่สามารถระบุตำแหน่งโพรีออน (porion) ได้อย่างแม่นยำ นอกจากนี้ ระนาบฐานกะโหลกที่ใช้อยู่ซึ่งเป็น ระนาบเซลลา – นาซิออน (sella – nasion plane) เป็นตัวแทนเฉพาะฐานกะโหลกส่วนหน้าเท่านั้น ถ้าใช้ระนาบเซลลา – นาซิออนในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงลักษณะใบหน้าด้านข้าง (profile) จะมีผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของมุมแซดเดิล

(saddle angle) หรือมุมเบซิออน – เซลลา – นาซิออน ได้ จากเหตุผลที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ทำให้ Bjork เห็นสมควรให้ใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์เป็นตัวแทนของฐานกะโหลกส่วนหลัง

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาจุดอาร์ติคูลาเรย์มาใช้เป็นตัวแทนของขากรรไกรล่างกันอย่างกว้างขวาง เพื่อหลีกเลี่ยงความไม่แน่นอนในการกำหนดจุดคอนคายลियोน สำหรับการวัดความยาวของขากรรไกรล่าง ไม่ว่าจะใช้เพื่อการประเมินการเจริญเติบโต หรือ การประเมินผลการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชั้่นนอลที่กระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่าง Stickel และ Pancherz¹⁵ กล่าวว่า การใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์เพื่อวัตถุประสงค์นี้ไม่สามารถยอมรับได้เนื่องจากเหตุผลหลายประการ ได้แก่

1. ถ้าขากรรไกรล่างขยับจากตำแหน่งสบฟันในศูนย์แล้ว จุดอาร์ติคูลาเรย์จะเปลี่ยนตำแหน่งไป

ผู้ป่วยที่มีการสบฟันไม่แน่นอนก่อนการจัดฟัน เช่น ดิวอัล ไบท์ (dual bite) ถ้าหากการจัดฟันทำให้ผู้ป่วยมีการสบฟันที่เปลี่ยนตำแหน่งไปจากการถ่ายภาพรังสีครั้งแรก อาจพบว่าความยาวของขากรรไกรล่างเมื่อเปรียบเทียบกับภาพรังสีก่อนและหลังการรักษามีการเปลี่ยนแปลง ทั้งที่ความเป็นจริงอาจไม่ได้เปลี่ยนแปลง หรือผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชั้่นนอลที่กระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่างมาข้างหน้า หัวคอนคายลึ่ถูกจัดตำแหน่งให้เคลื่อนมาทางด้านหน้าของแอ่งข้อต่อขากรรไกร ซึ่งการติดตามผลการรักษาในผู้ป่วยประเภทนี้ การวัดความยาวขากรรไกรล่างที่เพิ่มขึ้นโดยวัดจากจุดอาร์ติคูลาเรย์ไม่ได้หมายความว่าขากรรไกรล่างจะยาวขึ้นจริง ๆ แต่อาจเกิดเนื่องจากการเคลื่อนที่ของขากรรไกรมาข้างหน้า

2. การเปลี่ยนตำแหน่งของแอ่งข้อต่อขากรรไกร

ในกระบวนการเจริญเติบโต แอ่งข้อต่อขากรรไกรจะเคลื่อนที่ไปข้างหลังและต่ำลงเมื่อเทียบกับกระดูกสฟีนอยด์ (sphenoid bone) โดยคนที่มีรูปแบบการเจริญของใบหน้าในแนวตั้ง (vertical growth pattern) มักจะมีการเคลื่อนที่ของแอ่งข้อต่อขากรรไกรไปข้างหลังมากกว่าคนที่ มีรูปแบบการเจริญของใบหน้าในแนวราบ (horizontal growth pattern)²⁹ จากการศึกษาของ Buschang และ Santos-Pinto³⁰ พบว่าถ้าใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์วัดความยาวขากรรไกรล่างในขณะที่ผู้ป่วยมีการเจริญเติบโต จะทำให้เหมือนกับว่าขากรรไกรล่างเจริญไปข้างหลังมากกว่าและเจริญในแนวตั้งน้อยกว่าการวัดจากจุดคอนคายลियोน ซึ่งเป็นผลตามของทิศทางการเปลี่ยนตำแหน่งของแอ่งข้อต่อขากรรไกร ในทางตรงกันข้าม กรณีที่ผู้ป่วยได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชั้่นนอลที่กระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่างมาข้างหน้า จะเกิดการพอกพูนของกระดูกบริเวณด้านหลังของแอ่งข้อต่อขากรรไกร และการละลายตัวของกระดูกทางด้านหน้าของแอ่งข้อต่อขากรรไกรและด้านหลังของโพสกลีนอยด์ สปายน์ (Postglenoid spine) เพื่อให้แอ่งข้อต่อขากรรไกรเคลื่อนที่มาข้างหน้าตามการเคลื่อนที่ของหัวคอนคายลึ่^{31,32} การที่แอ่งข้อต่อขากรรไกรมีการเปลี่ยนตำแหน่งได้จากการเจริญเติบโตหรือการรักษา³¹ เป็นเรื่องยืนยันว่าหัว

คอนคายล์ก็ต้องการเปลี่ยนตำแหน่งตามไปด้วย ทำให้จุดอาร์ติคูลาเรย์ที่กำหนดไว้ ณ เวลาหนึ่ง จะไม่ใช่จุดเดิมบนขากรรไกรล่างเมื่อเวลาผ่านไป

3. รูปแบบการเจริญของหัวคอนคายล์

การเจริญของหัวคอนคายล์มีได้หลายรูปแบบ รูปแบบการเจริญที่แตกต่างกันทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะหัวคอนคายล์ถึงโพโกนีออนกับระยะอาร์ติคูลาเรย์ถึงโพโกนีออนมีการเปลี่ยนแปลงไป

4. การหมุนของขากรรไกรล่าง

การเจริญของหัวคอนคายล์จะร่วมไปกับการหมุนของขากรรไกรล่าง เมื่อขากรรไกรล่างหมุนจะทำให้ระยะอาร์ติคูลาเรย์ถึงโพโกนีออนมีการเปลี่ยนแปลงไปได้ โดยที่ความยาวขากรรไกรล่างไม่ได้เปลี่ยนแปลง

5. การพอกพูนของกระดูกบริเวณด้านหลังเรมัส

การเจริญของขากรรไกรล่างจะร่วมไปกับการพอกพูนของกระดูกบริเวณด้านหลังเรมัสเสมอ ทำให้ตำแหน่งของอาร์ติคูลาเรย์มีการเปลี่ยนแปลงไป

6. การเจริญของฐานกะโหลกส่วนหลัง

มีการพอกพูนของกระดูกบริเวณด้านล่างของฐานกะโหลกส่วนหลัง ส่งผลให้ตำแหน่งของอาร์ติคูลาเรย์มีการเปลี่ยนแปลงไป

อย่างไรก็ดี Stickle และ Pancherz¹⁵ ได้กล่าวว่า ถึงแม้การใช้อาร์ติคูลาเรย์จะยอมรับไม่ได้ในการเปรียบเทียบความยาวขากรรไกรล่างภายในตัวบุคคลดังเหตุผลดังกล่าวแล้ว แต่การศึกษาวิจัยที่มีการเปรียบเทียบระหว่างกลุ่มสามารถใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์ในการวัดความยาวขากรรไกรล่างได้ ซึ่งในกรณีที่เป็นการศึกษาภายในตัวบุคคล เขาแนะนำว่าควรถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างขณะอ้าปากเพิ่ม เพื่อให้สามารถกำหนดจุดคอนคายล์ได้อันแม่นยำขึ้น

Nelson และคณะ³³ ให้ความเห็นว่าไม่ควรใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์ในการวัดความยาวขากรรไกรล่างเพื่อประเมินผลการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงซ์นอล การศึกษานี้พบว่าระยะอาร์ติคูลาเรย์ถึงโพโกนีออนเพิ่มขึ้นภายหลังการรักษา แต่ระยะคอนคายล์ถึงโพโกนีออนไม่มีการเปลี่ยนแปลงอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อยื่นขากรรไกรล่างออกมาข้างหน้าจะทำให้ความยาวขากรรไกรล่างเพิ่มขึ้นและมุมโกเนียกว้างขึ้น Chen และคณะ⁷ กล่าวว่า การศึกษาใดที่ใช้การประเมินความยาวของขากรรไกรล่างภายหลังการรักษาด้วยจุดอาร์ติคูลาเรย์ เป็นการศึกษาที่ไม่น่าเชื่อถือ เพราะเมื่อใช้การวัดจากจุดอาร์ติคูลาเรย์ ขากรรไกรล่างจะมีความยาวเพิ่มขึ้นทันทีที่เคลื่อนลงล่างและมาข้างหน้า ไม่มีความเกี่ยวข้องกับการเจริญของหัวคอนคายล์เลย จึงมีข้อแนะนำว่าการทำวิจัยที่เกี่ยวกับประสิทธิภาพของเครื่องมือกระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่างควรวัดความ

ชาวชากรรไกรล่างจากหัวคอนดาอัลเท่านั้น Ghafari และคณะ²³ กล่าวว่า ความผิดพลาดในการกำหนดจุดคอนดาอัลเลียน มีผลกระทบอย่างมากต่อการประเมินประสิทธิภาพของเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชั้่นนอล และ การประเมินการเจริญของชากรรไกรล่าง แต่เนื่องจากการวัดความยาวของชากรรไกรล่างจากหัวคอนดาอัลเป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและไม่สามารถใช้จุดอื่นมาทดแทนได้ จึงควรมีมาตรการสำหรับใช้ในการศึกษาวิจัย กล่าวคือในการศึกษาชนิดไปข้างหน้า (prospective study) ควรมีการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างขณะอ้าปากเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งภาพ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของหัวคอนดาอัลให้แม่นยำขึ้น ส่วนในกรณีที่เป็นการศึกษาชนิดย้อนหลัง (retrospective study) ซึ่งไม่ได้ถ่ายภาพรังสีขณะอ้าปากไว้ ควรเลือกเฉพาะรายที่มองเห็นหัวคอนดาอัลได้อย่างชัดเจนเท่านั้น หรือถ้ามองเห็นหัวคอนดาอัลได้ไม่ชัดเจนนักแต่ยังสามารถระบุตำแหน่งได้ก็ควรรายงานไว้ด้วย

ความผิดพลาดในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง

การวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ต้องอาศัยการวัดค่าต่าง ๆ มากมาย ทั้งที่เป็นระยะทาง และมุม ขั้นตอนการวิเคราะห์จะเริ่มจากการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาค ลากเส้นเชื่อมจุดเกิดเป็นระนาบ แล้ววัดระยะทางและมุมตามแบบแผนของการวิเคราะห์ จากนั้นอาจนำภาพลอกลายภาพรังสีสองภาพที่ถ่ายเมื่อเวลาผ่านไปมาซ้อนทับกันเพื่อติดตามผลการรักษาหรือประเมินการเจริญเติบโต ในแต่ละขั้นตอนเหล่านี้มีโอกาสเกิดความผิดพลาดได้ทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการกำหนดจุด การลากเส้น การวัด และการซ้อนทับภาพรังสี Richardson³⁴ ได้ทำการศึกษาถึงความน่าเชื่อถือ (reliability) ในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคและลากเส้นหรือระยะต่าง ๆ พบว่าแต่ละจุดมีความน่าเชื่อถือในแนวราบและแนวตั้งแตกต่างกัน เช่นจุดเมนทอน (menton) มีความน่าเชื่อถือในแนวตั้งมากกว่าแนวราบ ส่วนนาซิออนมีความน่าเชื่อถือในแนวราบมากกว่าแนวตั้ง เป็นต้น ความน่าเชื่อถือที่แตกต่างกันนี้มีผลมาจากลักษณะทางกายวิภาคของโครงสร้างที่กำหนดจุดต่อมา Buamrind และ Frantz⁸ ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับความผิดพลาดในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาค 16 จุดว่ามีมากน้อยเท่าไรและมีแบบแผนอย่างไรโดยการทำเป็นแผนภาพการกระจาย (scattergram) ที่เรียกว่า กรอบความผิดพลาด (envelope of error) พบว่าแต่ละจุดมีโอกาสเกิดความผิดพลาดไม่เท่ากัน และแต่ละจุดจะมีรูปแบบของความผิดพลาดแตกต่างกันตามลักษณะทางกายวิภาค เช่น จุดเมนทอนมักเกิดความผิดพลาดในแนวราบ จุดโพโกนีออนมักเกิดความผิดพลาดในแนวตั้ง ส่วนจุดโกนีออนจะเกิดความผิดพลาดได้ทั้งแนวราบและแนวตั้ง เป็นต้น ปัจจัยที่เป็นสาเหตุของความผิดพลาดในการกำหนดจุดคือ ตำแหน่งของจุดบนกายวิภาค ความชัดเจนของโครงสร้างบนภาพรังสี และความชัดเจนของนิยาม (รายละเอียดได้กล่าวไว้แล้วในตอนต้น) จาก

การศึกษานี้ได้ผลว่า จุดเซลล์เป็นจุดบนกระดูกที่มีความผิดพลาดได้น้อยที่สุด ซึ่งผู้วิจัยให้ความเห็นว่า การแบ่งครึ่งระยะทางสั้น ๆ ด้วยตานั้นสามารถทำได้อย่างแม่นยำ ส่วนชนิดของความผิดพลาดยังมีผลต่อรูปแบบของแผนภาพการกระจายอีกด้วย กล่าวคือ ความผิดพลาดอย่างสุ่ม (random error) จะทำให้แผนภาพการกระจายมีรูปแบบอย่างเดิมแต่มีการกระจายมากขึ้น แต่ความผิดพลาดทางระบบ (systematic error) จะทำให้แผนภาพการกระจายมีรูปแบบเปลี่ยนไป ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยได้ให้ข้อเสนอแนะว่า การลดความผิดพลาดในการกำหนดจุดที่ดีที่สุดคือ การกำหนดจุดซ้ำสองครั้งแล้วหาค่าเฉลี่ย

Buamrind และ Frantz ¹¹ สรุปว่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริก ด้านข้างเกิดจาก 3 ปัจจัย คือ

1. ความผิดพลาดจากการถ่ายภาพรังสี

ความผิดพลาดชนิดนี้ได้แก่ การขยายของภาพรังสี และการบิดเบี้ยวของระนาบที่ไม่อยู่ในแนวขนานกับฟิล์ม หรือตั้งฉากกับลำรังสี (x-ray beam)

การลดความผิดพลาดจากการถ่ายภาพรังสี ก่อนอื่นต้องควบคุมการถ่ายภาพทุกครั้งให้มีมาตรฐานเดียวกัน โดยจัดตำแหน่งผู้ป่วยให้ถูกต้องทุกครั้ง ส่วนความผิดพลาดที่เกิดจากการขยายของภาพและการบิดเบี้ยวของระนาบสามารถหลีกเลี่ยงได้จากการวิเคราะห์ภาพด้วยค่ามุม เพราะมุมจะไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อมีการขยายของภาพ ส่วนการวัดระยะทางต้องวัดระยะบนระนาบแบ่งครึ่งซ้ายขวา (midsagittal plane) ซึ่งเป็นระนาบที่ขนานกับฟิล์มเท่านั้น แต่ระยะทางจะแปรเปลี่ยนตามการขยายของภาพ ดังนั้น ควรนำมาคำนวณกับกำลังขยายของเครื่องถ่ายภาพรังสีนั้น ๆ เพื่อที่จะสามารถนำค่าระยะทางไปเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน หรือ เปรียบเทียบกับค่าวัดจากเครื่องถ่ายภาพรังสีอื่น ๆ ได้ ซึ่งการจัดทำค่ามาตรฐานก็ต้องมีการคำนวณกับกำลังขยายของเครื่องถ่ายภาพรังสีแล้วเช่นกัน อย่างไรก็ตามการจัดตำแหน่งผู้ป่วยโดยระนาบแบ่งครึ่งซ้ายขวาไม่ขนานกับฟิล์มจะทำให้ค่ามุมที่วัดได้มากขึ้นกว่าปกติ ส่วนระยะทางจะสั้นลง

2. ความผิดพลาดจากกระบวนการวัด

ความผิดพลาดชนิดนี้ได้แก่ ความผิดพลาดที่เกิดจากการใช้ดินสอลากเส้นเชื่อมจุดสองจุดด้วยมือ จากไม้บรรทัดที่ใช้วัดมีความละเอียดไม่เพียงพอ หรือจากตามนุษย์ที่ไม่สามารถวัดได้อย่างละเอียด เป็นต้น ดังนั้นควรทำการลอกลายภาพรังสี และกำหนดจุดด้วยความรอบคอบ ระมัดระวัง และทำภายในสภาวะที่เหมาะสม ทันตแพทย์สามารถลดความผิดพลาดชนิดนี้ให้น้อยลงไปได้ถ้าวัดด้วยคอมพิวเตอร์ เพราะคอมพิวเตอร์จะเปลี่ยนจุดเป็นพิกัด แล้วจึงคำนวณระยะทางหรือมุมด้วยวิธีทางพีชคณิต

3. ความผิดพลาดจากตำแหน่งของจุดสังเกตทางกายวิภาค

เกิดจากสาเหตุ 3 ประการคือ ประการแรก ความยากง่ายในการกำหนดตำแหน่งของจุดแต่

ละจุด ความยากง่ายนี้เกิดจาก 3 ปัจจัย คือ ตำแหน่งของจุดสังเกตทางกายวิภาค ความชัดเจนของจุดสังเกตทางกายวิภาคบนภาพรังสี และ ความชัดเจนของนิยาม ซึ่งรายละเอียดดังกล่าวแล้วในตอนต้น ประการที่สองคือ ระยะทางระหว่างจุดสองจุดที่ใช้ในการลากเส้นระนาบ กล่าวคือ ถ้าจุดทั้งสองยิ่งห่างกัน ยิ่งลดความผิดพลาดให้น้อยลง ตัวอย่างเช่น การลากระนาบสลับฟัน ถ้าต้องลากเส้นต่อจุดระหว่างปุ่มฟันกรามกับฟันกรามน้อย จะเกิดความผิดพลาดได้มากกว่าลากจากฟันกรามถึงฟันตัด หรือการลากระนาบขากรรไกรล่างจากจุดโกนีออนถึงจุดเมนทอน ถึงแม้ว่าจุดโกนีออนจะมีโอกาสกำหนดผิดพลาดได้ค่อนข้างสูงแต่จะไม่ส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดของระนาบมากนัก เนื่องจากจุดทั้งสองอยู่ห่างกัน ประการที่สาม คือทิศทางของกรอบความผิดพลาดของแต่ละจุด ในการลากเส้นเชื่อมระหว่างจุดสองจุดจะเกิดความผิดพลาดได้มากหรือน้อยขึ้นอยู่กับทิศทางของเส้นกับทิศทางของกรอบความผิดพลาด ถ้าแนวเส้นกับกรอบความผิดพลาดอยู่ในทิศทางเดียวกัน จะเกิดความผิดพลาดได้น้อย เช่นการลากเส้นนาซियोอนถึงโพโกนีออน ซึ่งเป็นเส้นแนวตั้ง และกรอบความผิดพลาดของทั้งสองจุดนี้ก็อยู่ในแนวตั้ง จะมีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้น้อย ส่วนการลากเส้นเซลลานาซियोอน มีโอกาสผิดพลาดได้มาก เพราะ เส้นนี้ทอดตัวในแนวราบ แต่กรอบความผิดพลาดของนาซियोอนอยู่ในแนวตั้ง

Savara และคณะ³⁵ สรุปรว่าความผิดพลาดจากการกำหนดจุดเกิดขึ้นได้มากกว่าความผิดพลาดจากการวัดถึง 5 เท่า Sandler³⁶ ได้ทำการศึกษาถึงความผิดพลาดในการวัดระยะและมุมจากการวัด 3 วิธี คือ วิธีแรกลอกกลายภาพรังสี กำหนดจุดและวัดด้วยมือ วิธีที่สองลอกกลายและกำหนดจุดด้วยมือแล้ววัดโดยใช้คอมพิวเตอร์ และวิธีที่สามกำหนดจุดและวัดโดยคอมพิวเตอร์ พบว่าทั้งสามวิธีไม่ได้มีความผิดพลาดในปริมาณที่แตกต่างกัน แต่วิธีที่สามให้ความน่าเชื่อถือในการวัดค่ามุมมากกว่า อย่างไรก็ตาม การลอกกลายและกำหนดจุดด้วยมือให้ความน่าเชื่อถือมากกว่าในกรณีที่มีการวัดเกี่ยวข้องกับจุดที่สร้างขึ้นหรือต้องเคลื่อนย้ายและขวา เช่นจุดโกนีออน เป็นต้น ผู้วิจัยสรุปว่า การลอกกลายภาพรังสีและวัดด้วยมือถึงแม้จะทำให้ช้ากว่าการใช้คอมพิวเตอร์ช่วย แต่ถ้าผู้วัดทำการวัดและอ่านค่าอย่างระมัดระวังแล้ว ผลที่ได้จะมีความน่าเชื่อถือไม่ต่างไปจากการใช้คอมพิวเตอร์แต่อย่างใด

การซ้อนทับภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง คือการนำภาพลอกกลายจากภาพรังสีสองภาพมาซ้อนทับกันบนระนาบหรือจุดที่กำหนด เพื่อวิเคราะห์ถึงการเปลี่ยนแปลงของกะโหลกศีรษะและใบหน้าเมื่อเวลาผ่านไป ซึ่งใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต หรือติดตามผลของการรักษา เป็นต้น กระบวนการซ้อนทับภาพรังสีสามารถเกิดความผิดพลาดได้สูงที่สุด เนื่องจากมีความผิดพลาดสะสมมาตั้งแต่การกำหนดจุด การลากเส้น และการวัดค่ามุมและระยะทางของภาพรังสีทั้งสอง เมื่อนำมาซ้อนทับจะเกิดความผิดพลาดในการซ้อนทับเสริมมากขึ้นอีก อย่างไรก็ตาม ความ

ผิดพลาดในการซ้อนทับนี้อาจไม่มีผลมากนักในกรณีที่ทำการศึกษาวิจัยโดยใช้ตัวอย่างจำนวนมาก แต่จะมีผลค่อนข้างรุนแรงต่อการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงเฉพาะบุคคล วิธีการลดความผิดพลาดในการซ้อนทับต้องเริ่มจากการเพิ่มความแม่นยำในการกำหนดจุด นั่นคือ ต้องถ่ายรูปให้มีความชัดที่ดี ทำการลอกลายภาพรังสีและกำหนดจุดอย่างระมัดระวังรอบคอบ และทำภายใต้สภาวะที่เหมาะสม สำหรับการลดความผิดพลาดในการวิจัย ควรทำการลอกลายซ้ำ และกำหนดจุดซ้ำอย่างเป็นอิสระกันในแต่ละครั้ง ถ้าสามารถกำหนดจุดซ้ำได้ 4 ครั้ง จะสามารถลดความผิดพลาดลงได้กว่าครึ่ง แต่การกำหนดจุดซ้ำอาจไม่สะดวกในการทำด้วยมือจึงควรทำด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการปฏิบัติงานทางคลินิก ต้องพึงระวังว่าการวิเคราะห์ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง มีความผิดพลาดเกิดขึ้นได้ทุกขั้นตอน ดังนั้นการวางแผนการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน โดยเฉพาะการรักษาชนิดที่ไม่สามารถย้อนกลับได้ เช่นการถอนฟัน ไม่ควรวางแผนเพื่อแก้ไขความผิดปกติเพียงเพราะได้ค่าวัดต่างจากค่ามาตรฐานเพียงเล็กน้อย เนื่องจากปริมาณนี้อาจอยู่ในส่วนของความผิดพลาดก็ได้³⁷

Houston⁹ สรุปว่าความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดมีสองรูปแบบ คือ ประการแรกเกิดจากความตรง (validity) หรือความแม่นยำ (accuracy) ของจุดสังเกตทางกายวิภาคว่าจุดนั้น ๆ สามารถเป็นตัวแทนของสิ่งที่ต้องการจะวัดได้หรือไม่ เช่น การวัดจากจุดเซลลาถึงจุดนาซิออน สามารถเป็นตัวแทนของฐานกะโหลกส่วนหน้าได้หรือไม่ หรือสามารถใช้จุด A เป็นตัวแทนของตำแหน่งขากรรไกรบนได้หรือไม่ ซึ่งในกรณีนี้ จุด A มีการเปลี่ยนตำแหน่งได้จากการเคลื่อนที่ของฟันหน้า ดังนั้นทันตแพทย์จะต้องมีความระมัดระวังในการวิเคราะห์ภาพรังสีจากการวัดใด ๆ ที่อ้างอิงจากจุดนี้ด้วย นอกจากนี้ความตรงของการวัดยังรวมถึงความผิดพลาดที่เกิดจากการถ่ายภาพรังสี ซึ่งต้องจัดตำแหน่งผู้ป่วยให้ระนาบแบ่งซ้ายขวาของกะโหลกศีรษะขนานกับฟิล์ม มิเช่นนั้นแล้วจะเกิดการบิดเบี้ยวของภาพได้ และการวัดค่าระยะทางจะต้องมีการคำนวณปรับกำลังขยายของภาพก่อนนำไปเปรียบเทียบกับค่าวัดจากเครื่องถ่ายภาพรังสีอื่น ๆ หรือเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน รูปแบบของความผิดพลาดประการที่สองเกิดจากความน่าเชื่อถือ (reliability) ของสิ่งที่วัด หรือความสามารถในการทำซ้ำให้ได้เท่าเดิมนั่นเอง ความน่าเชื่อถือขึ้นอยู่กับคุณภาพของภาพรังสี สภาวะขณะทำการวัด และความใส่ใจและทักษะของผู้วัด การวัดที่ไม่มีความน่าเชื่อถือทำให้เกิดความผิดพลาดในการวัดได้สองชนิดคือ ความผิดพลาดอย่างสุ่มและความผิดพลาดทางระบบ สิ่งที่ทำให้เกิดความผิดพลาดอย่างสุ่ม ได้แก่ คุณภาพของภาพรังสีที่ไม่ดี เช่น มีความดำของภาพมากเกินไปหรือน้อยเกินไป ไม่มี ความคมชัดของภาพ ทำให้มองเห็นโครงสร้างต่าง ๆ ไม่ชัด การจัดตำแหน่งผู้ป่วยผิดพลาด หรือฟิล์มบิดงอ ความยากง่ายในการกำหนดจุดแต่ละจุด นิยามในการกำหนดจุดที่ไม่ชัดเจน และสภาวะขณะทำการวัดไม่เหมาะสม เช่น มีแสงสว่างรบกวนขณะทำการลอกลายภาพรังสี เป็นต้น ส่วนความผิดพลาดทางระบบมีลักษณะที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันซึ่งเกิดได้จาก การเปรียบเทียบ

ภาพรังสีที่ถ่ายจากเครื่องถ่ายภาพรังสีต่างกันโดยไม่ได้รับกำลังขยายก่อน ความลำเอียง (bias) ในตัวผู้วัดที่อยากให้ได้ผลอย่างหนึ่ง การวัดภาพรังสีสองครั้งแต่เวลาผ่านไปนาน และการเปรียบเทียบค่าวัดที่วัดโดยผู้วัดมากกว่าหนึ่งคน ความผิดพลาดจากสาเหตุนี้สามารถทำให้ลดลงได้ จากการคำนวณปรับกำลังขยาย การวัดโดยใช้เทคนิคบอด (blind technique) การฝึกฝนวัดบ่อย ๆ ให้ชำนาญ และถ้าต้องมีผู้วัดมากกว่าหนึ่งคนต้องทำการปรับความรู้และสร้างมาตรฐานในการวัดให้ได้เท่าเทียมกัน Richardson³⁴ Trpkova และคณะ³⁸ Cheunchompoonut และคณะ³⁹ ได้ศึกษาพบว่า การกำหนดจุดรวมไปถึงการวัดโดยผู้วัดคนเดียวจะให้ค่าวัดที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ผู้วัดหลายคน นอกจากนี้ Larheim และ Svanaes⁴⁰ กล่าวว่า การถ่ายภาพรังสีโดยใช้ผู้ถ่ายเพียงคนเดียวจะให้ค่าวัดที่มีความน่าเชื่อถือมากกว่าการใช้ผู้ถ่ายภาพรังสีหลายคนด้วย

Dahlberg⁴¹ ได้นำเสนอสูตรการหาค่าความผิดพลาดอย่างสุ่มในรูปของค่าความแปรปรวนของความผิดพลาด (error variance) ซึ่งมีค่าเท่ากับผลรวมของความแตกต่างในการวัดสองครั้งกำลังสองหารด้วยสองเท่าของจำนวนตัวอย่าง

$$\text{Error variance} = \frac{\sum d^2}{2n} \quad \begin{array}{l} d \text{ คือความแตกต่างในการวัดสองครั้ง} \\ n \text{ คือจำนวนตัวอย่าง} \end{array}$$

จากสูตรนี้สามารถหาค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (standard error) ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{Standard error} &= \sqrt{\text{Error variance}} \\ &= \sqrt{(\sum d^2 / 2n)} \end{aligned}$$

ค่าความผิดพลาดมาตรฐานแสดงให้เห็นปริมาณความผิดพลาดที่เกิดจากการวัดสองครั้ง

Trpkova และคณะ³⁸ ได้ทำ meta analysis เกี่ยวกับความน่าเชื่อถือในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาคในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างโดยการรวบรวมจากงานวิจัยหกชิ้น พบว่าแต่ละจุดมีความน่าเชื่อถือในการระบุตำแหน่งแตกต่างกันไป แต่การระบุตำแหน่งที่ผิดไปไม่เกิน 0.59 มิลลิเมตรในแนวราบ และ 0.56 มิลลิเมตรในแนวตั้งอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ สำหรับจุดคอนดอยลิออนซึ่งให้นิยามว่าเป็นจุดบนสุดและหลังสุดบนหัวคอนดอยล์เฉลี่ยด้านซ้ายและขวา พบว่ากำหนดจุดผิดในแนวราบ 1.7 มิลลิเมตร และในแนวตั้ง 2.1 มิลลิเมตร ส่วนจุดโกนีออนซึ่งเป็นจุดกึ่งกลางของมุมขากรรไกรล่างกำหนดจุดผิดในแนวราบ 0.8 มิลลิเมตร และในแนวตั้ง 0.9 มิลลิเมตร

หลักเบื้องต้นของการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก⁴²

การถ่ายภาพรังสีพานอรามิก เป็นการถ่ายภาพรังสีนอกช่องปากชนิดหนึ่ง ที่มีลักษณะเฉพาะตัว ไม่เหมือนกับการถ่ายภาพรังสีแบบอื่น ๆ คือ จุดกำเนิดรังสี และ ฟิล์ม มีการเคลื่อนที่หมุนไปรอบศีรษะของผู้ป่วย ภาพรังสีที่ได้จะเป็นภาพของขากรรไกรบนและล่างติดต่อกันไปตลอดบนฟิล์มเดียวกัน โดยไม่มีอวัยวะอื่นมาบังทับ เสมือนการมองดูภาพขากรรไกรที่ขยายให้มาอยู่ในแนวตรง ขนาดของฟิล์มที่ใช้ ยาว 1 ฟุต กว้างประมาณ 12.5 – 15 เซนติเมตร

บริเวณความชัด



รูปที่ 7 แสดงบริเวณความชัดในการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก มีรูปร่างโค้งคล้ายเกือกม้า และมีความสูงในแนวตั้ง

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p. 17. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ภาพรังสีพานอรามิกมีความชัดเฉพาะที่บริเวณขากรรไกรเท่านั้น ส่วนบริเวณอื่น ๆ จะไม่ชัด (blur) เพื่อลดการซ้อนทับกันของภาพโครงสร้างต่าง ๆ กะโหลกศีรษะ บริเวณความชัด (area of sharpness, image layer, focal trough) นั้นมักจะมีลักษณะโค้งตามรูปร่างของขากรรไกร โค้งคล้ายเกือกม้า และมีความสูงในแนวตั้ง (รูปที่ 7) ส่วนที่ชัดที่สุดในบริเวณความชัดนี้อยู่ที่แนวกึ่งกลางมีลักษณะเป็นระนาบ เรียกว่า ระนาบกลาง (central plane) (รูปที่ 8) วัตถุที่อยู่ในบริเวณความชัด แต่ถ้าไม่ได้อยู่ในระนาบกลางนี้ ก็จะมี ความชัดน้อยลงตามลำดับ

ศักยภาพในการมองภาพของมนุษย์ จะสามารถแยกแยะภาพที่ไม่ชัด ออกจากภาพที่ชัดได้ เมื่อเกิดความไม่ชัดขึ้นตั้งแต่ 0.2 มิลลิเมตร ขึ้นไป ถึงแม้ว่าการถ่ายภาพรังสีพานoramิกจะทำให้ภาพชัดที่สุดเมื่อวัตถุอยู่ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัดเท่านั้น แต่ถ้าวัตถุอยู่ถัดจากระนาบกลางนี้ใกล้ฟิล์ม หรือ ใกล้ฟิล์มออกไปเล็กน้อย ในขอบเขตที่จะไม่ทำให้เกิดความไม่ชัดเกิน 0.2 มิลลิเมตร แล้ว ก็ยังมองเห็นว่าภาพที่ปรากฏมีความชัดเจต ดังนั้น จึงเรียกบริเวณที่ถ่ายภาพรังสีแล้วยังเห็นภาพชัดเจน ว่าเป็นบริเวณความชัด ซึ่งมีระนาบกลาง แบ่งครึ่งความกว้างของบริเวณความชัดนี้

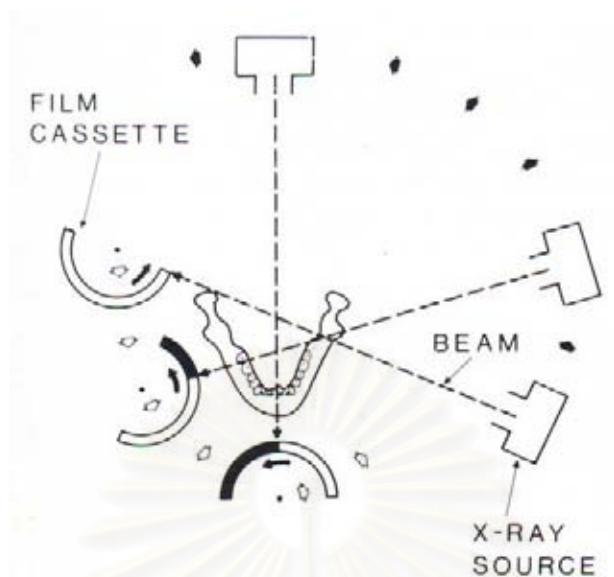


รูปที่ 8 แสดงรูปร่างและระนาบกลางของบริเวณความชัดเมื่อเปรียบเทียบกับขากรรไกรล่าง (FT คือบริเวณความชัด และ P คือระนาบกลางของบริเวณความชัด)

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.21. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

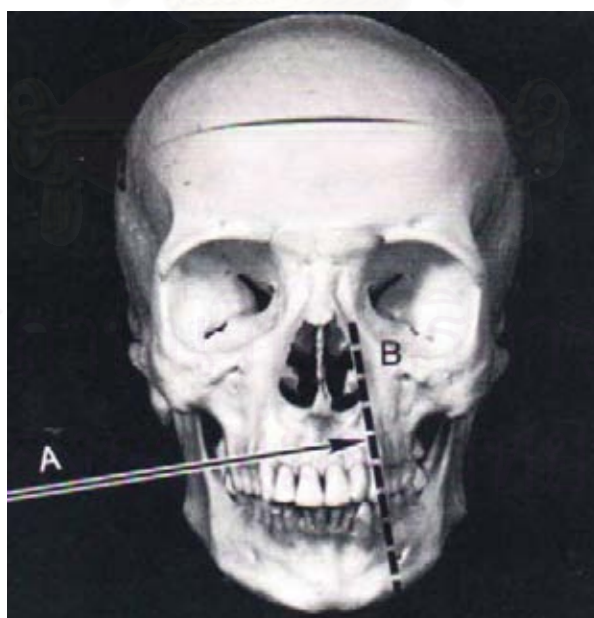
หลักของการทำให้เกิดบริเวณความชัด คือ หัวหลอดรังสี และ ฟิล์ม หมุนรอบศีรษะผู้ป่วย ในทิศทางตรงข้ามกัน (รูปที่ 9) ลำแสงรังสีเอ็กซ์ (x-ray beam) มีลักษณะเป็นลำแสงแคบ และความเร็วในการเคลื่อนที่ของฟิล์มเท่ากับความเร็วที่ภาพของเนื้อเยื่อในบริเวณ ความชัดตกกระทบฟิล์ม

ทิศทางลำแสงรังสีเอ็กซ์ในการถ่ายภาพรังสีพานoramิก จะเป็นมุมเงยขึ้นจากแนวราบ ประมาณ 8-9 องศา (รูปที่ 10) หรือตั้งฉากกับความเอียงของขากรรไกร เพื่อให้ส่วนยื่นเพดาน (palatal process) ของขากรรไกรบนไม่ซ้อนทับกับบรากฟัน ลำแสงรังสีจะเคลื่อนผ่านจาก มาสตอยด์ โพรเซส (mastoid process) ด้านหนึ่งผ่านหัวคอนดอยล์ ในแนวเฉียง ลำแสงจะเคลื่อนผ่านขากรรไกรหมุนไปเป็นรูปวงรี จนมาสิ้นสุดที่มาสตอยด์โพรเซส อีกด้านหนึ่ง ขณะที่ลำแสงรังสีเอ็กซ์ผ่านขากรรไกรทั้งสองข้าง แต่ขากรรไกรด้านที่อยู่ใกล้ฟิล์มเท่านั้นที่จะปรากฏเป็นภาพที่ชัด



รูปที่ 9 แสดงทิศทางเคลื่อนที่ของหัวหลอดรังสี (x-ray source) และฟิล์ม (film cassette) ซึ่งหมุนรอบศีรษะในทิศทางตรงข้ามกัน

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.15. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.



รูปที่ 10 แสดงทิศทางลำแสงรังสีเอ็กซ์ในแนวตั้ง (A) ซึ่งเป็นมุมเงยขึ้นประมาณ 8-9 องศา หรือตั้งฉากกับความเอียงของขากรรไกร(B)

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.29. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

รูปร่างและขนาดของบริเวณความชัด จะแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตเครื่องถ่ายภาพรังสี
ปัจจัยที่ควบคุมรูปร่างและขนาดของบริเวณความชัดมีดังนี้

1. ความเร็วของการเคลื่อนที่ของฟิล์ม และ ความเร็วของลำแสงรังสีเอ็กซ์ในการเคลื่อนผ่านวัตถุ เป็นปัจจัยที่กำหนดรูปร่างของระนาบกลาง ในบริเวณความชัด

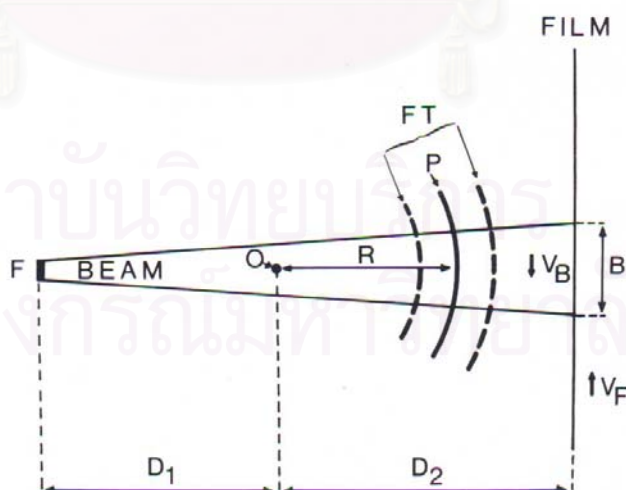
ระยะทางระหว่างระนาบกลาง กับจุดศูนย์กลางการหมุนของลำแสงรังสีเอ็กซ์จะเปลี่ยนได้เมื่ออัตราส่วนของความเร็วทั้งสองเปลี่ยนไป ถ้าความเร็วทั้งสองมีอัตราส่วนคงที่ตลอด ก็จะได้ระนาบกลางเป็นรูปกลม แต่การเปลี่ยนอัตราส่วนของความเร็วในขณะถ่ายภาพ จะทำให้ได้ระนาบกลางที่เป็นรูปเกือกม้า สัมพันธ์กับรูปร่างของขากรรไกร

2. ความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของระนาบกลาง จุดศูนย์กลางการหมุนของลำแสงรังสีเอ็กซ์ และ จุดกำเนิดรังสี เป็นปัจจัยที่กำหนดความกว้างของบริเวณความชัด

บริเวณความชัดจะแคบลงเมื่อ ระยะจากระนาบกลางถึงจุดศูนย์กลางการหมุนของลำแสงรังสีเอ็กซ์ (R) น้อยลง หรือเมื่อระยะจากจุดศูนย์กลางการหมุนของลำแสงรังสีเอ็กซ์ถึงจุดกำเนิดรังสี (D1) มากขึ้น (รูปที่ 11)

3. ความกว้างของลำแสงรังสีเอ็กซ์บนฟิล์ม (B) (รูปที่ 11) เป็นปัจจัยที่กำหนดความกว้างของบริเวณความชัด

บริเวณความชัดจะกว้างขึ้นเมื่อความกว้างของลำแสงรังสีเอ็กซ์บนฟิล์มน้อยลง ดังนั้นลำแสงรังสีเอ็กซ์จะต้องมีความกว้างเพียงพอที่จะทำให้บริเวณความชัดครอบคลุมขนาดของขากรรไกรพอดี ถ้าลำแสงรังสีเอ็กซ์แคบเกินไป จนทำให้บริเวณความชัดครอบคลุมส่วนอื่นที่ไม่ใช่ขากรรไกรด้วย ภาพที่ได้จะมีโครงสร้างอื่นมาซ้อนทับบนขากรรไกรได้



รูปที่ 11 แสดงตัวแปรต่าง ๆ ในการกำหนดขนาดและรูปร่างของบริเวณความชัด โดยที่ O คือจุดศูนย์กลางของการหมุน F คือจุดกำเนิดรังสี B คือความกว้างของลำแสงรังสีบนฟิล์ม V_B คืออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของลำแสงรังสี V_F คืออัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของฟิล์ม

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.17. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

เนื่องจากรูปร่างและขนาดของบริเวณความชัดมีความแตกต่างกันไปตามบริษัทผู้ผลิตเครื่องถ่ายภาพรังสี ทันตแพทย์จึงควรมีความรู้ ความเข้าใจ และ ความคุ้นเคยกับลักษณะบริเวณความชัดของเครื่องถ่ายภาพรังสีที่ใช้เป็นอย่างดี เพื่อให้การพิจารณาและแปลผลภาพ มีประสิทธิภาพสูงสุด

ความไม่ชัด และ การบิดเบี้ยว (distortion) ของภาพ เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

1. การเคลื่อนที่ของเงาภาพบนฟิล์ม
2. ความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของ ฟิล์ม บริเวณความชัด และ จุดกำเนิดรังสี
3. ทิศทางของลำแสงรังสีเอ็กซ์ที่ผ่านขากรรไกร
4. อินเทนซิฟายอิง สกรีน (intensifying screen)

1. หลักการเคลื่อนที่ของเงาภาพบนฟิล์ม ใช้อธิบายความไม่ชัด และการบิดเบี้ยวของภาพในแนวราบ โดยที่เมื่อวัตถุไม่อยู่บนระนาบกลางของบริเวณความชัด การเคลื่อนที่ของเงาภาพจะไม่สอดคล้องกับการเคลื่อนที่ของฟิล์ม

2. การเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของฟิล์ม วัตถุ และ จุดกำเนิดรังสี ใช้อธิบายการขยายขนาดของภาพในแนวดิ่ง การอธิบายปรากฏการณ์นี้ จะใช้ลวดที่ตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสวางในบริเวณต่าง ๆ ของบริเวณความชัด แล้วถ่ายภาพรังสีพานอรามิก (รูปที่ 12 และ 13)

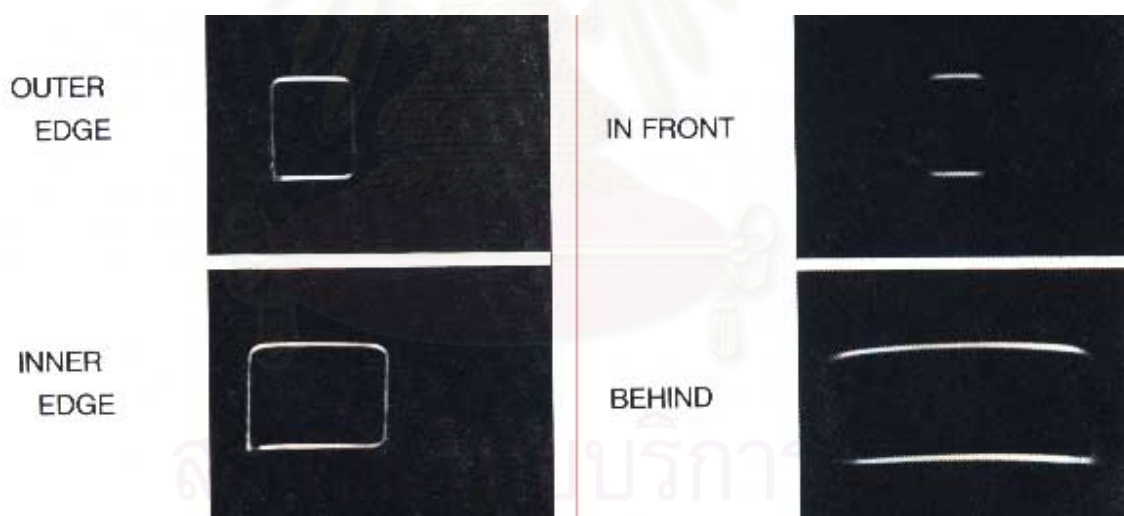


รูปที่ 12 ซ้าย - แสดงการวางวัตถุลวดตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสไว้ที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของบริเวณความชัด ขวา - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายของภาพในแนวราบและแนวดิ่งเป็นสัดส่วนกัน ทำให้ได้ภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเช่นเดิม

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.25. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัด (รูปที่ 12) ภาพจะขยายขนาดขึ้นทั้งในแนวราบและแนวตั้งอย่างเป็นสัดส่วนกัน ทำให้ได้ภาพเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสดั้งเดิม เพราะบริษัทผู้ผลิตจะกำหนดให้การเคลื่อนที่ของเงาภาพบนระนาบกลางและฟิล์มมีความสัมพันธ์กัน ทำให้ภาพไม่มีการบิดเบี้ยว และ มีความชัดเจนมากที่สุด

ที่ขอบของบริเวณความชัด (รูปที่ 13) ภาพจะเปลี่ยนขนาดในแนวราบและแนวตั้งไม่เป็นสัดส่วนกัน เรียกว่าเกิดการบิดเบี้ยวของภาพ เมื่อพิจารณาในแนวตั้ง วัตถุที่อยู่ใกล้ฟิล์มจะมีการขยายขนาดน้อยกว่าวัตถุที่มีตำแหน่งไกลฟิล์ม เมื่อพิจารณาในแนวราบ วัตถุที่อยู่ใกล้ฟิล์ม จะมีขนาดหดเล็กลง แต่วัตถุที่อยู่ไกลฟิล์มจะขยายขนาดขึ้น เนื่องจากวัตถุที่อยู่ใกล้ฟิล์ม หรืออยู่ไกลจากจุดกำเนิดรังสี ลำแสงรังสีเอ็กซ์จะผ่านวัตถุเร็วกว่า ในขณะที่ฟิล์มเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ทำให้นขนาดของเงาภาพที่ตกลงบนฟิล์มมีขนาดแคบลง ส่วนวัตถุที่อยู่ใกล้ฟิล์ม หรือ ใกล้จุดกำเนิดรังสี ลำแสงรังสีเอ็กซ์จะผ่านวัตถุช้ากว่า ในขณะที่ฟิล์มเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วคงที่ ทำให้นขนาดของเงาภาพที่ตกลงบนฟิล์มมีขนาดกว้างขึ้น เมื่อพิจารณาถึงความชัดเจนของภาพ พบว่า เส้นลวดในแนวตั้งมีความชัดน้อยกว่าเส้นลวดในแนวราบ และ เส้นลวดในแนวตั้งเมื่อมีตำแหน่งไกลฟิล์มก็จะมีความชัดน้อยกว่าเมื่ออยู่ใกล้ฟิล์ม



รูปที่ 13 ซ้ายบน - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ขอบนอกของบริเวณความชัด พบว่ามีการหดในแนวราบ ซ้ายล่าง - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ที่ขอบในของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายในแนวราบ ขวาบน - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ด้านหน้าของบริเวณความชัด พบว่ามีการหดในแนวราบมากขึ้น และภาพไม่ชัดมากขึ้น ขวาล่าง - แสดงภาพที่ปรากฏเมื่อวางวัตถุไว้ด้านหลังของบริเวณความชัด พบว่ามีการขยายในแนวราบมากขึ้น และภาพไม่ชัดมากขึ้น จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.25. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

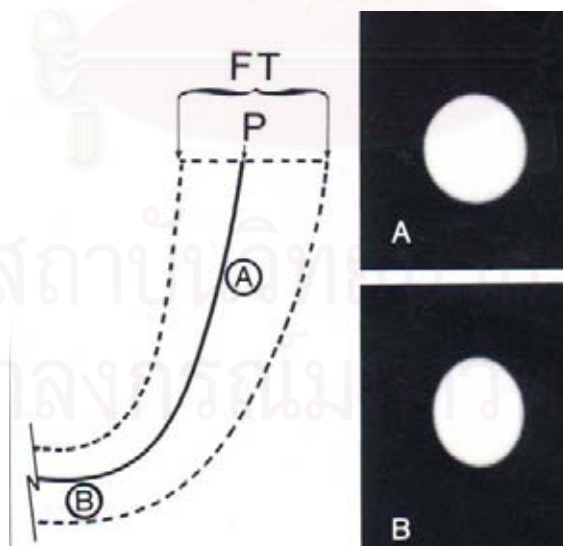
ที่นอกบริเวณความชัด ภาพจะไม่ชัดและบิดเบี้ยวมากขึ้น โดยที่ เส้นลวดในแนวตั้ง ไม่สามารถมองเห็นได้ แต่เส้นลวดในแนวราบจะแคบลง และ กว้างขึ้นมาก เมื่อวัตถุอยู่ใกล้ฟิล์ม และไกลฟิล์ม ตามลำดับ

2.1 ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของภาพในแนวตั้ง จะมีเพียงปัจจัยเดียวคือ ความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของฟิล์ม วัตถุ และ จุดกำเนิดรังสี กล่าวคือ วัตถุจะมีการขยายขนาดในแนวตั้งน้อยที่สุด เมื่อวัตถุอยู่ชิดกับฟิล์ม เมื่อวัตถุอยู่ห่างจากฟิล์มมากขึ้นก็ยิ่งทำให้มีการขยายของภาพในแนวตั้งมากขึ้น หลักการนี้ใช้อธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในรูปที่ 12 ได้ว่า เมื่อเส้นลวดอยู่ที่ขอบบริเวณความชัดด้านใกล้ฟิล์ม เส้นลวดในแนวตั้งจะมีการขยายขนาดน้อยกว่าและมีความชัดมากกว่าเมื่อเส้นลวดอยู่ที่ขอบบริเวณความชัดด้านไกลฟิล์ม

2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของภาพในแนวราบ คือ

2.2.1 ตำแหน่งของวัตถุเมื่อเทียบกับระนาบกลางของบริเวณความชัด วัตถุที่อยู่ใกล้ฟิล์มมากกว่าระนาบกลาง ภาพจะหดแคบลง ส่วนวัตถุที่อยู่ไกลฟิล์มมากกว่าระนาบกลาง ภาพจะขยายกว้างขึ้น

2.2.2 ขนาดของบริเวณความชัด ในบริเวณความชัดแคบ เช่นบริเวณฟันหน้า วัตถุที่มีตำแหน่งคลาดเคลื่อนจากระนาบกลางไปเพียงเล็กน้อย ก็เกิดการหดหรือขยายของภาพในแนวราบมาก แต่ถ้าบริเวณความชัดกว้าง เช่น บริเวณเรมีส เมื่อวัตถุมีตำแหน่งคลาดเคลื่อนจากระนาบกลางไปเพียงเล็กน้อย จะไม่เกิดการหดหรือขยายของภาพในแนวราบมากนัก (รูปที่ 14)



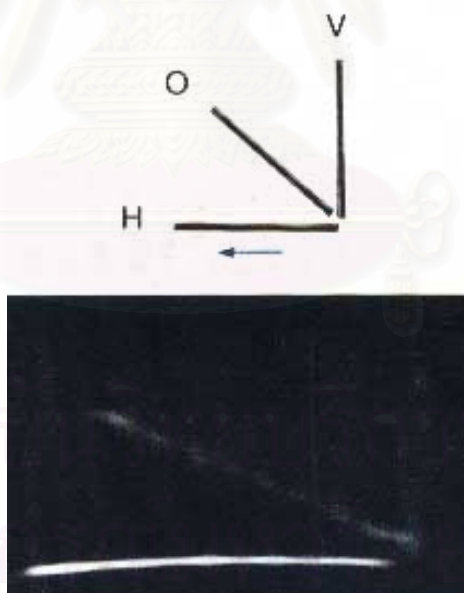
รูปที่ 14 แสดงการบิดเบี้ยวของภาพไม่เท่ากัน เมื่อวัตถุอยู่ในบริเวณความชัดที่มีความกว้างต่างกัน วัตถุ A วางอยู่บริเวณขากรรไกรล่างส่วนท้ายฟันกรามซึ่งมีบริเวณความชัดกว้าง วัตถุ B วางอยู่บริเวณฟันหน้าซึ่งมีบริเวณความชัดแคบ

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p.27 Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

จะเห็นได้ว่า การบิดเบี้ยวของภาพในแนวราบเกิดขึ้นได้ง่าย โดยเฉพาะส่วนหน้าของขากรรไกร ดังนั้นการวัดระยะในแนวราบจากภาพรังสีพานoramิกจึงเป็นสิ่งที่ไม่ควรกระทำ แต่การวัดในแนวตั้งหรือจากจุดสังเกตทางกายวิภาคที่วางตัวเกือบเป็นแนวตั้งสามารถวัดได้ และถ้าต้องการระยะจริง เช่น ระยะห่างระหว่างขอบล่างของโพรงอากาศขากรรไกรบน (maxillary sinus) กับสันกระดูกเบ้าฟัน (alveolar crest) ต้องคำนวณด้วยกำลังขยายของเครื่องถ่ายภาพรังสีนั้น ๆ ซึ่งระยะนี้อาจมีความผิดพลาดได้ 10% ส่วนการวัดมุมในภาพรังสีพานoramิกสามารถกระทำได้ แต่พึงระลึกว่าบริเวณส่วนหน้าของขากรรไกรสามารถเกิดความผิดพลาดได้มากกว่าส่วนหลัง⁴³

2.3 ปัจจัยที่มีผลต่อความไม่ชัดของภาพ

2.3.1 ทิศทางการวางตัวของวัตถุ ถ้าวัตถุวางตัวในทิศทางเดียวกับการเคลื่อนที่ของลำแสงรังสีเอ็กซ์ เช่น เส้นลวดในแนวราบ ไม่ว่าตำแหน่งของวัตถุจะอยู่ที่ใด ก็ไม่มีผลกระทบต่อความชัดมากนัก แต่ถ้าวัตถุวางตัวตั้งฉากกับการเคลื่อนที่ของลำแสงรังสีเอ็กซ์ เช่น เส้นลวดในแนวตั้ง การวางตำแหน่งวัตถุคลาดเคลื่อนไปจากระนาบกลางเพียงเล็กน้อย ก็มีผลต่อความชัด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้าวัตถุอยู่ในตำแหน่งนอกเหนือไปจากบริเวณความชัดแล้ว ภาพที่ได้จะไม่ชัดมากจนไม่สามารถมองเห็นได้เลย (รูปที่ 15)



รูปที่ 15 แสดงทิศทางการวางตัวของวัตถุมีผลต่อความชัดของภาพ

จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p. 27. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

2.3.2 ความทึบรังสี และขนาดของวัตถุ วัตถุที่มีขนาดเท่ากัน แต่ทำจากวัสดุที่มีความทึบรังสีต่างกัน ก็ให้ภาพที่มีความชัดไม่เท่ากัน เช่น ถ้าวางวัตถุ 2 ชิ้น ทำจากโลหะและอะคริลิก ไว้หลังบริเวณความชัด 5 มิลลิเมตร พบว่าภาพวัตถุที่ทำจากโลหะยังมีความชัดเจน แต่วัตถุที่ทำจาก อะคริลิกจะไม่ชัด (รูปที่ 16) ส่วนวัตถุที่ทำจากวัสดุเดียวกัน แต่ถ้ามีขนาดต่างกัน ก็มีผลต่อความชัดเจนของภาพ เช่น เส้นลวดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่กว่า ก็จะทำให้ภาพมีความชัดเจนมากกว่าเส้นลวดที่มีขนาดเล็กกว่า



รูปที่ 16 แสดงคุณสมบัติทึบรังสีของวัตถุมีผลต่อความชัดของภาพ ภาพรังสีทางซ้ายคือวัตถุโลหะ ส่วนทางขวาคือวัตถุอะคริลิก

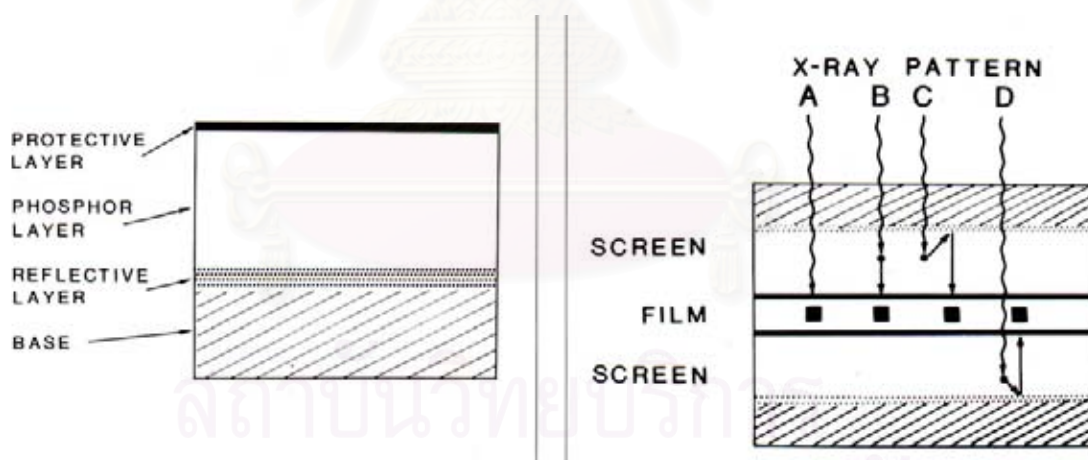
จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, p. 27. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

3. ทิศทางของลำแสงรังสีเอ็กซ์ที่ผ่านขากรรไกร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อความสัมพันธ์ของโครงสร้างของอวัยวะต่าง ๆ ที่ปรากฏบนฟิล์ม อย่างไรก็ตาม ทางบริษัทผู้ผลิตเครื่องถ่ายภาพรังสี จะกำหนดทิศทางของลำแสงรังสีคงที่ไว้แล้ว เพื่อให้สามารถควบคุมการบิดเบี้ยวและการซ้อนทับของภาพที่ปรากฏบนฟิล์มให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม ทิศทางของลำแสงรังสีในแนวดิ่ง กำหนดให้ทำมุมในแนวเฉียงขึ้นประมาณ 9 องศา กับบริเวณความชัด ทิศทางเฉียงขึ้นเช่นนี้ จะทำให้ลำแสงรังสีตั้งฉากกับแนวเฉียงของขากรรไกรในแนวดิ่งพอดี ส่วนยื่นเพดานไม่ซ้อนทับกับรากฟันบน (รูปที่ 10) ทิศทางของลำแสงรังสีในแนวราบ ถูกกำหนดโดยจุดศูนย์กลางของการหมุนขณะ

ถ่ายภาพ ในบริเวณแนวโค้งฟัน (dental arch) ถ้าแสงรังสีจะทอดตั้งฉากกับแนวโค้ง เพื่อให้ผ่านด้าน
 ประชิดของฟัน เป็นการลดการซ้อนทับของฟันได้ แต่ในส่วนเรมีส และ คอนคายล์ ถ้าแสงรังสีจะ
 ทอดตัวในแนวเฉียง

4. อินเทนซิฟายอิง สกรีน ใช้ในการถ่ายภาพรังสีพานอรามิก เพื่อลดปริมาณรังสีที่ใช้ และ
 เพิ่มคอนทราสต์ (contrast) ของภาพ ให้มองเห็นรายละเอียดได้ชัดเจนขึ้น การใช้อินเทนซิฟายอิง
 สกรีน สามารถลดปริมาณรังสีที่ใช้ได้ถึง 16 เท่า อย่างไรก็ตามการใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีน จะทำ
 ให้ความคมชัดของภาพทั้งหมดที่ปรากฏบนฟิล์มลดน้อยลงด้วย ส่วนขนาดของเกรน (grain) และ
 ความหนาของอิมัลชัน (emulsion) บนฟิล์ม มีผลต่อความคมชัดของภาพเช่นกัน แต่อยู่ในปริมาณ
 เล็กน้อยจนไม่สามารถรับรู้ได้

อินเทนซิฟายอิง สกรีน ประกอบด้วย ฐานพลาสติก ชั้นสะท้อนแสง (reflective layer) ชั้น
 ฟอสฟอรัส คริสตัล (phosphor crystal layer) และ พลาสติกปิดทับอีกชั้นหนึ่ง (รูปที่ 17) ในการ
 ถ่ายภาพรังสีพานอรามิก จะใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีน 2 อัน ประกบฟิล์มที่อยู่ตรงกลาง เมื่อรังสีตก
 กระทบ ฟอสฟอรัส คริสตัล จะดูดรังสีเอ็กซ์ไว้ แล้วปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent light)
 ออกมากระทบกับฟิล์ม (รูปที่ 17)



รูปที่ 17 ซ้าย - แสดงส่วนประกอบของอินเทนซิฟายอิง สกรีน ขวา - แสดงอินเทนซิฟายอิง สกรีน
 ดูดซับรังสีเอ็กซ์ไว้ แล้วปล่อยแสงฟลูออเรสเซนต์ออกมาตกกระทบกับฟิล์ม (B, C, D) ในขณะที่
 รังสีเอ็กซ์บางส่วน (A) ผ่านไปกระทบกับฟิล์มโดยตรง

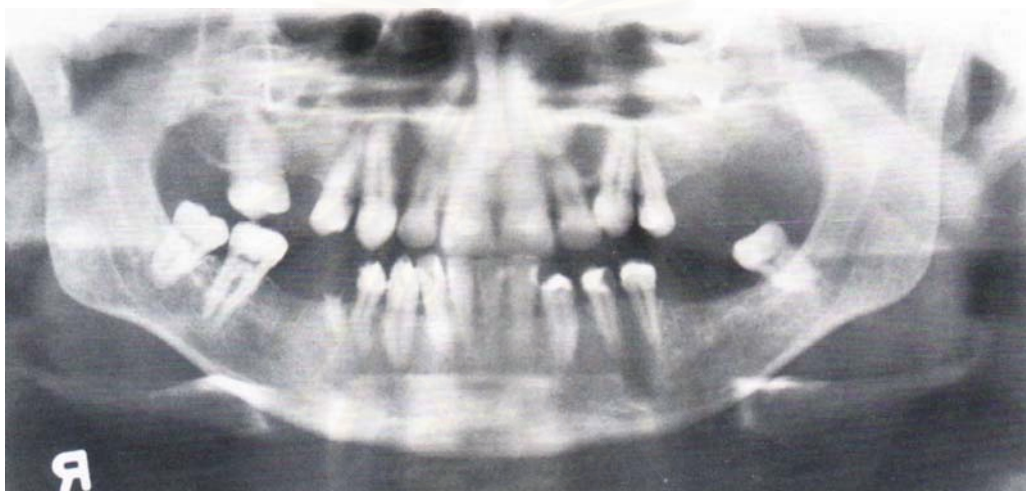
จาก Chomengo, A. G. Principles of pantomography Atlas of maxillofacial pantomographic
 interpretation, p. 31. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

อินเทนซิฟายอิง สกรีน มีผลต่อความคมชัดของภาพ และความไวของฟิล์ม (speed) เมื่อฟอสฟอรัส คริสตัล มีอนุภาคขนาดใหญ่ขึ้น และ ชั้นฟอสฟอรัส คริสตัล หนาขึ้น จะทำให้ภาพมีความคมชัดน้อยลง แต่ความไวของฟิล์มมากขึ้น ฟอสฟอรัส คริสตัล ที่ใช้อย่างแพร่หลาย คือ แคลเซียมทังสเตต (Calcium tungstate (CaWO_4)) แต่ในปัจจุบัน ได้มีการพัฒนาฟอสฟอรัส คริสตัล ที่ไม่ใช่แคลเซียม ทังสเตต ออกมาด้วย ซึ่งมีคุณสมบัติเรืองแสงได้มากขึ้น ทำให้ฟิล์มมีความไวมากขึ้น แต่ความคมชัดไม่แตกต่างกัน

ความผันแปรของภาพที่ปรากฏบนภาพรังสีพานอรามิก⁴⁴

เมื่อจัดผู้ป่วยให้ขากรรไกรอยู่ในตำแหน่งพอดีกับบริเวณความชัดแล้ว ถึงแม้จะถ่ายด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีต่างบริษัทกัน ก็ไม่ได้ทำให้ภาพที่ได้มีความแตกต่างกันมากนัก ทั้งในแง่ของความชัดเจนของโครงสร้างต่าง ๆ และความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่าง ๆ เหล่านั้น แต่สิ่งที่แตกต่างกันค่อนข้างมากคือ ขนาดของอวัยวะ ซึ่งแตกต่างกันในแนวราบมากกว่าแนวดิ่ง เหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะเครื่องถ่ายภาพรังสีของแต่ละบริษัท จะมีรูปร่างและขนาดของบริเวณความชัดแตกต่างกัน ซึ่งรูปร่างและขนาดของบริเวณความชัดเป็นปัจจัยที่มีผลโดยตรงต่อขนาดของภาพในแนวราบ ส่วนขนาดของภาพในแนวดิ่ง มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องเพียงปัจจัยเดียวคือ ความสัมพันธ์ทางตำแหน่งของฟิล์ม บริเวณความชัด และ จุดกำเนิดรังสี ซึ่งมักจะมีค่าใกล้เคียงกันในแต่ละบริษัท

ถ้าตำแหน่งของขากรรไกรไม่พอดีกับบริเวณความชัดแล้ว จะเกิดการเหลื่อมล้ำ (discrepancies) ของขนาดอวัยวะด้านซ้ายและด้านขวา ซึ่งมักเกิดในที่บริเวณความชัดแคบ นั่นคือ บริเวณฟันหน้าซึ่งมีโอกาที่จะเกิดความไม่ชัดและภาพบิดเบี้ยวได้มาก นอกจากนี้ ลักษณะโครงสร้างของใบหน้าก็มีผลต่อความชัดของภาพด้วย ในบางกรณีผู้ป่วยมีความผิดปกติของโครงสร้างมาก จนไม่สามารถจัดตำแหน่งให้ทุกอวัยวะอยู่ในบริเวณความชัดได้ เช่นรายที่มีลักษณะโครงสร้างใบหน้าผิดปกติแบบที่สาม (skeletal Class III) มีความเหลื่อมล้ำกันมากของขนาดขากรรไกรบนและล่าง การจัดตำแหน่งผู้ป่วยจึงทำได้เพียงให้ขากรรไกรใดขากรรไกรหนึ่งอยู่ในบริเวณความชัดเท่านั้น (รูปที่ 18) หรือในกรณีที่ฟันหน้ามีแนวแกนเอียงออกทางด้านริมฝีปากมาก (labial flaring) จนทำให้ส่วนตัวฟันอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของบริเวณความชัด ส่วนรากฟันอยู่ทางด้านหลัง ภาพที่ปรากฏจะมีการบิดเบี้ยวไม่เท่ากัน กล่าวคือ ส่วนตัวฟันมีลักษณะแคบ ส่วนรากฟันมีลักษณะกว้าง



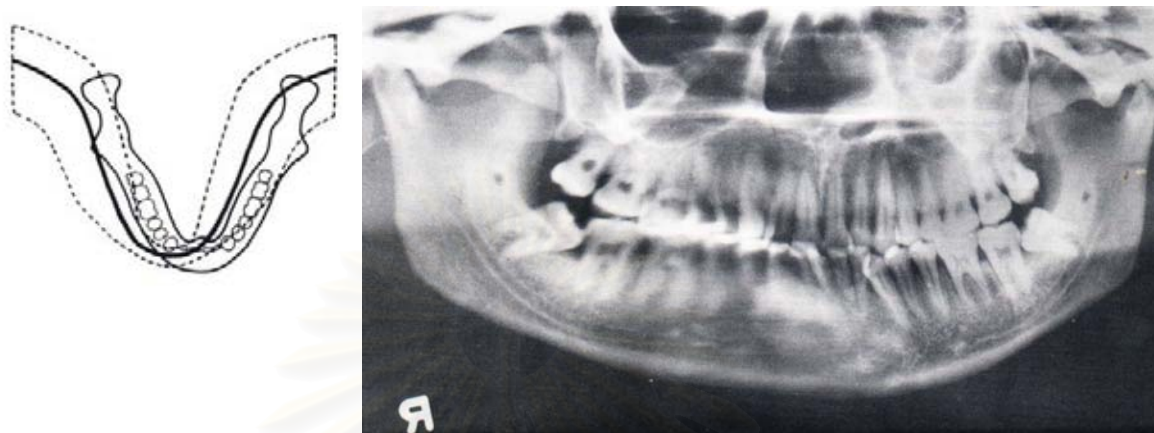
รูปที่ 18 ภาพบนแสดงภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างของผู้ป่วยที่มีโครงสร้างใบหน้าแบบที่ 3 ภาพล่างแสดงภาพรังสีพานอรามิกซึ่งฟันหน้าล่างอยู่ในบริเวณความชัด ส่วนฟันหน้าบนอยู่ด้านหลังของบริเวณความชัด จึงทำให้ฟันมีขนาดกว้างกว่าปกติและไม่ชัด

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p.53. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ในทางปฏิบัติมีปัจจัยที่ทำให้เกิดความไม่ชัดหรือมีการบิดเบี้ยวของภาพด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากันมักจะเกิดจากการจัดตำแหน่งผู้ป่วยไม่ถูกต้อง มากกว่ารูปร่างและขนาดของบริเวณความชัดไม่พอดีกับขนาดขากรรไกร

ตัวอย่างของภาพที่เกิดจากการจัดตำแหน่งผู้ป่วยไม่ถูกต้อง

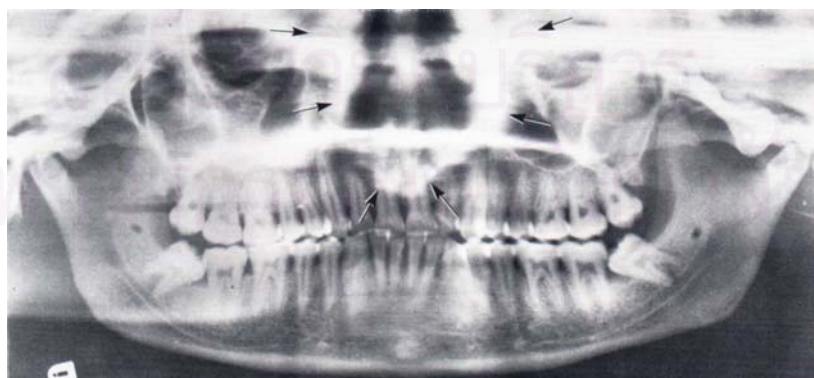
ถ้าใบหน้าด้านซ้ายชิดฟิล์มมากกว่าใบหน้าด้านขวา จะทำให้อวัยวะทางด้านซ้ายหดเล็กลง ส่วนด้านขวาขยายขนาดขึ้น และไม่ชัด (รูปที่ 19)



รูปที่ 19 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณีที่ใบหน้าผู้ป่วยด้านซ้ายชิดฟิล์มมากกว่าด้านขวา ขวา - แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่ปรากฏว่าอวัยวะทางด้านซ้ายหดเล็กลง ส่วนด้านขวาขยายขนาดขึ้นและไม่ชัด

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p.58. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

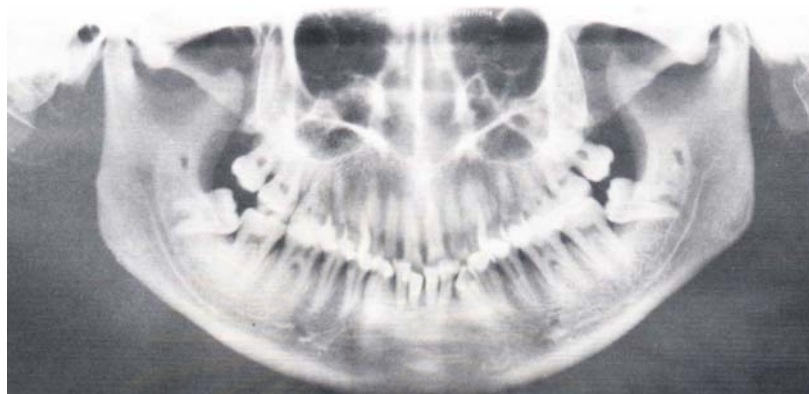
ถ้าผู้ป่วยเงยหน้าขึ้น 10 องศา ระนาบสบฟันจะโค้งลง อวัยวะในขากรรไกรบนเกิดการบิดเบี้ยวมากกว่าขากรรไกรล่าง หัวคอคายล์จะกางออกจากมุมขากรรไกรล่างมากขึ้น และเกิดเงาของกระดูกท้ายทอยบดบังบริเวณส่วนกลางของขากรรไกรบน (รูปที่ 20)



รูปที่ 20 แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่เกิดจากผู้ป่วยเงยหน้าขึ้น 10 องศา ปรากฏระนาบสบฟันโค้งลง หัวคอคายล์กางออกจากมุมขากรรไกรล่างมากขึ้น และเกิดเงาของกระดูกท้ายทอยบดบังบริเวณส่วนกลางของขากรรไกรบน (ตามลูกศร)

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p. 59. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

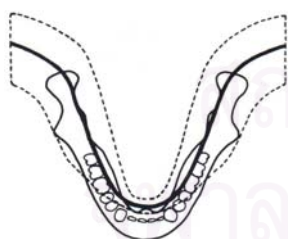
ถ้าผู้ป่วยก้มหน้าลง 10 องศา ระบายสบฟันจะโค้งขึ้น อวัยวะในขากรรไกรบนเกิดการบิดเบี้ยวมากกว่าขากรรไกรล่าง ระยะระหว่างหัวคอนดอยล์ทั้งสองลดลงมากกว่าระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (รูปที่ 21)



รูปที่ 21 แสดงภาพรังสีพานอราไมกที่เกิดจากผู้ป่วยก้มหน้าลง 10 องศา ปรากฏระบายสบฟันโค้งขึ้น หัวคอนดอยล์ข้างออกจากมุมขากรรไกรล่างน้อยลง

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p. 60. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ถ้าขากรรไกรบนและล่างเลื่อนมาด้านหน้ากว่าปกติ 1 เซนติเมตร อวัยวะส่วนหน้าของขากรรไกรจะหดเล็กลง โดยมีผลกระทบต่อฟันหน้ามากที่สุด เพราะเคลื่อนออกมานอกบริเวณความชัด ทำให้ภาพไม่ชัดด้วย (รูปที่ 22)



รูปที่ 22 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณีที่ใบหน้าผู้ป่วยเลื่อนไปด้านหน้า 1 เซนติเมตร ขวา - แสดงภาพรังสีพานอราไมกที่ปรากฏว่าฟันหน้าหดแคบลง และไม่ชัด

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p.61. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ถ้าขากรรไกรบนและล่างเลื่อนไปด้านหลังกว่าปกติ 1 เซนติเมตร ทำให้อวัยวะทุกส่วนขยายขนาดขึ้น และไม่ชัด โดยเฉพาะบริเวณฟันหน้า (รูปที่ 23)

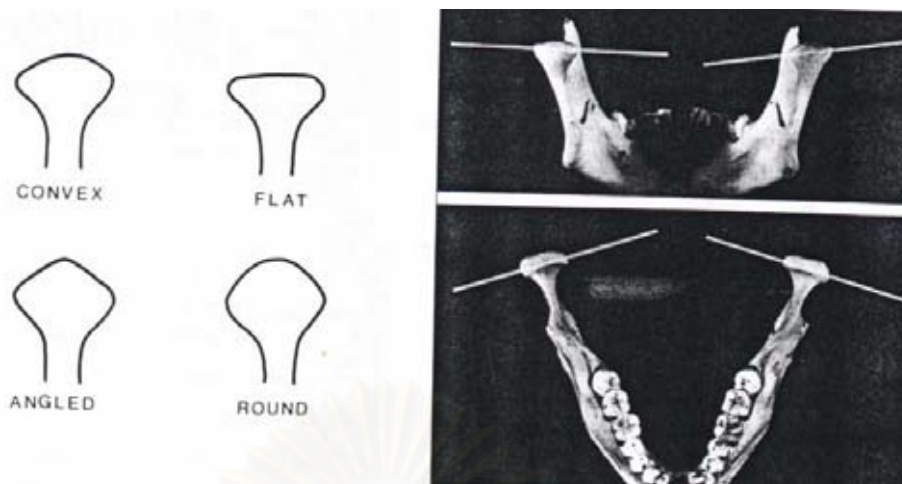


รูปที่ 23 ซ้าย - แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งขากรรไกรกับบริเวณความชัด ในกรณีที่ใบหน้าผู้ป่วยเคลื่อนไปด้านหลัง 1 เซนติเมตร ขวา - แสดงภาพรังสีพานอรามิกที่ปรากฏว่าอวัยวะทุกส่วนขยายขนาดขึ้น โดยเฉพาะฟันหน้าขยายขนาดมาก และไม่ชัด

จาก Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p.62. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

หัวคอนดอยล์ในภาพรังสีพานอรามิก

ภาพของหัวคอนดอยล์ที่ปรากฏบนฟิล์มมีความผันแปรได้มาก ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางเรขาคณิต (geometry) ของเครื่องถ่ายภาพรังสีที่ใช้ และตำแหน่งของขากรรไกรในบริเวณความชัด ภาพของหัวคอนดอยล์ที่มองเห็นในภาพรังสีพานอรามิก เกิดจากลำแสงรังสีเอ็กซ์ผ่านในแนวเฉียง ทำให้ได้ภาพของหัวคอนดอยล์ในแนวใกล้กลาง - ไกลกลาง (mediolateral) โดยที่ด้านใกล้กลางจะเห็นเป็นขอบหลัง ส่วนด้านไกลกลางเป็นขอบหน้า และ ขนาดของหัวคอนดอยล์รวมไปถึงคอของคอนดอยล์ (neck of condyle) จะมีขนาดในแนวราบกว้างกว่าปกติด้วย นอกจากนี้ เนื่องจากลำแสงรังสีเป็นมุมเฉียงขึ้น จึงทำให้ส่วนขั้วใกล้กลาง (medial pole) ของคอนดอยล์เกิดเป็นภาพที่อยู่ด้านบนเหนือต่อขั้วไกลกลาง (lateral pole)⁴⁵ อย่างไรก็ตาม ขนาดและรูปร่างของหัวคอนดอยล์จะไม่เปลี่ยนแปลงไปมากนักเมื่อเปลี่ยนตำแหน่งของศีรษะของผู้ป่วยเพียงเล็กน้อยตราบใดที่ขากรรไกรล่างยังอยู่ในบริเวณความชัด⁴⁶ ถ้าหัวคอนดอยล์อยู่นอกบริเวณความชัดแล้ว ภาพจะมีการบิดเบี้ยวร่วมกับไม่ชัด โดยที่ถ้าหัวคอนดอยล์อยู่นอกบริเวณความชัดด้านที่ไกลฟิล์มออกไป จะพบว่าภาพจะ



รูปที่ 24 ซ้าย - แสดงรูปร่างของคอนดอยล์แบบต่าง ๆ เมื่อมองจากด้านหลัง ขวาบน - แสดงมุมของคอนดอยล์ในแนวตั้ง ขวาล่าง - แสดงมุมของคอนดอยล์ในแนวราบ

จาก Chomengo, A. G. Temporomandibular joint abnormalities Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p.149. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ยี่ดียวขึ้นและไม่ชัดมาก ส่วนถ้าหัวคอนดอยล์อยู่นอกบริเวณความชัดมาทางด้านใกล้ฟิล์ม จะพบว่าภาพจะหดแคบลงและไม่ชัดเล็กน้อย

รูปร่างหัวคอนดอยล์ มีความผันแปรได้มาก จากการสำรวจของ Yale และคณะ⁴⁷ จากหัวคอนดอยล์ 3008 อันในกะโหลกแข็ง พบว่าโดยทั่วไป รูปร่างของคอนดอยล์ เมื่อมองจากด้านหลังมี 4 แบบ คือ แบบโค้งนูน (convex) พบได้มากที่สุด คือร้อยละ 58.3 รองลงมา คือแบบเรียบ (flat) ร้อยละ 25.2 แบบเป็นมุม (angle) ร้อยละ 11.6 และ แบบกลม (round) ร้อยละ 3.0 ส่วนเมื่อมองจากด้านบนจะพบว่า ขอบหลังและขอบหน้าของคอนดอยล์มีทั้งแบบที่เป็นผิวโค้งนูน เรียบตรง หรือ เว้า นอกจากนี้ มุมของหัวคอนดอยล์ในแนวตั้ง (vertical angulation) และ ในแนวราบ (horizontal angulation) มีความแตกต่างกันมากระหว่างบุคคล (รูปที่ 24) โดยมุมในแนวตั้งมีค่าได้ตั้งแต่ -45 ถึง $+35$ องศา มีค่าเฉลี่ยที่ $+5$ องศา และมุมในแนวราบมีค่า 0 ถึง 30 องศา จากการศึกษา⁴⁸ พบว่าร้อยละ 48.1 ของตัวอย่างมีมุมของหัวคอนดอยล์ในแนวราบด้านซ้ายและขวาเท่ากัน และร้อยละ 51.8 มีมุมในแนวตั้งทั้งสองข้างเท่ากัน

Habets และคณะ⁴⁸ ได้ทำการศึกษาความสมมาตร (symmetry) ของความสูงเรมีสและคอนดอยล์จากภาพรังสีพานอรามิก พบว่ามีคนที่ความสูงของเรมีสและคอนดอยล์ด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากันร้อยละ 16.3 ซึ่งมีความสูงแตกต่างกันโดยเฉลี่ยร้อยละ 4.76 และในคนที่ เป็นโรคข้อต่อขากรรไกร (temporomandibular disorder) จะพบความไม่สมมาตรได้มากขึ้นเป็นร้อยละ 6.9

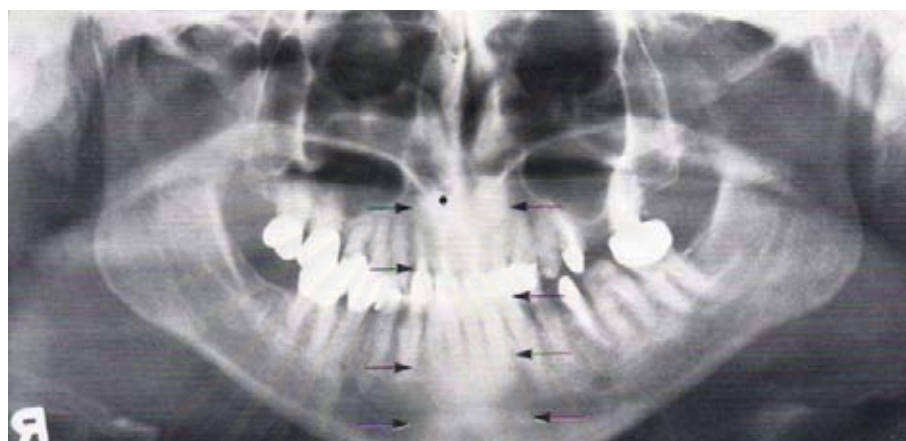
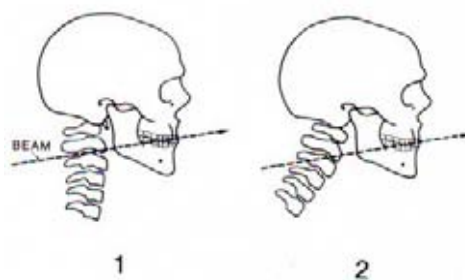
ความสูงของเรขาคณิตและคอนคาล์ที่แตกต่างกันนี้ ส่วนใหญ่แล้วจะมาจากความสูงในส่วนของคอนคาล์แตกต่างกัน Piedra⁴⁹ ศึกษาเกี่ยวกับความสมมาตรของขากรรไกรจากภาพรังสีฟานอราไมกพบว่าความสูงของเรขาคณิตวัดจากจุดสูงสุดของหัวคอนคาล์ถึงจุดโกน็อนด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากันร้อยละ 39 ของกลุ่มตัวอย่าง ซึ่งมีความแตกต่างโดยเฉลี่ยที่ 1.29 มิลลิเมตร อย่างไรก็ตามความแตกต่างนี้ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ Lundstrom⁵⁰ ได้กล่าวไว้ว่า อวัยวะใด ๆ ในร่างกายที่มีสองข้าง เมื่อมองด้วยตาเปล่ามักจะเห็นว่าเหมือนกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบกับค่าวัดเป็นตัวเลขจะพบว่ามี ความแตกต่างกันเล็กน้อยเสมอ

ด้วยเหตุที่หัวคอนคาล์มีความผันแปรของขนาด รูปร่าง และความสมมาตรได้มาก ดังนั้นจึงสามารถอธิบายได้ว่า เมื่อลำแสงรังสีเอ็กซ์ผ่านหัวคอนคาล์ ภาพที่ได้จากแต่ละบุคคลหรือด้านซ้ายและขวาภายในบุคคลเดียวกันอาจปรากฏแตกต่างกันไป

การถ่ายภาพรังสีในแบบอื่น ๆ เช่น ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง (lateral cephalometric radiograph) ภาพรังสีทรานส์ครานีเยล (transcranial radiograph) ภาพรังสีทรานส์ฟาริงเจียล (transpharyngeal radiograph) สามารถมองเห็นภาพหัวคอนคาล์ได้ แต่อาจถูกบดบังจากอวัยวะอื่นได้แก่ มาสทอยด์โพรเซส (mastoid process) ไชโกมาติกโพรเซส (zygomatic process) ส่วนพีทริส (petrous portion) ของกระดูกขมับ (temporal bone) ส่วนใกล้กลางของทิมพานิกเพลต (medial extent of tympanic plate) การถ่ายภาพรังสีฟานอราไมกช่วยให้ภาพของหัวคอนคาล์ไม่ถูกบดบังจากอวัยวะเหล่านี้ เนื่องจากลำแสงรังสีผ่านในแนวเฉียง⁴⁵

การจัดตำแหน่งผู้ป่วยในการถ่ายภาพรังสีฟานอราไมก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง

ในการถ่ายภาพรังสีฟานอราไมก⁵¹ จัดให้ระนาบแฟรงเฟิร์ตของศีรษะอยู่ในแนวราบ ระนาบแบ่งซ้าย-ขวา (midsagittal plane) ของศีรษะตั้งตรง และอยู่กึ่งกลางของบริเวณความชัดโดยตลอด ตามองตรงไปข้างหน้า ไม่หันหน้าไปข้างใดข้างหนึ่ง กัดฟันหน้าบนและล่างลงในร่องของก้านกัด (bite stick) การจัดตำแหน่งไม่ได้เช่นนี้ ทำให้เกิดการบิดเบี้ยวและความไม่ชัดของภาพได้ในหลายลักษณะดังที่ได้กล่าวไปแล้ว นอกจากนี้ หลังและลำคอของผู้ป่วยต้องอยู่ในแนวตรง ไม่ยื่นศีรษะไปข้างหน้า เพราะจะทำให้เกิดเงาภาพของกระดูกสันหลังซ้อนทับกับขากรรไกรในส่วนหน้าได้ (รูปที่ 25) ในขณะที่ถ่ายภาพรังสี ต้องกำชับผู้ป่วยให้อยู่นิ่ง หากมีการขยับเขยื้อนแล้ว ภาพของขากรรไกรบริเวณที่รังสีเอ็กซ์ผ่านขณะนั้นจะไม่ชัด และภาพไม่ต่อเนื่องกับบริเวณอื่น ๆ



รูปที่ 25 บน - 1)แสดงการจัดท่าผู้ป่วยที่ถูกต้องคือคอและหลังตรง 2) แสดงการจัดท่าที่ไม่ถูกต้องคือหลังโก่งและยื่นคอมาด้านหน้า ล่าง - แสดงภาพรังสีพานoramikที่ปรากฏเมื่อผู้ป่วยยื่นคอมาด้านหน้า คือเงาของกระดูกสันหลังจะบังทับขากรรไกรส่วนหน้า

จาก จาก Chomengo, A. G. Patient preparation and positioning Atlas for maxillofacial pantomograpinc interpretation, p.223. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

ความผิดพลาดในการถ่ายภาพรังสีพานoramik เกิดจากการจัดตำแหน่งผู้ป่วยไม่ถูกต้องได้มากที่สุด ดังนั้น ความเอาใจใส่ของผู้ถ่ายภาพรังสีในการจัดตำแหน่งผู้ป่วย จึงเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดในการถ่ายภาพรังสีให้มีคุณภาพที่ดี

การจัดตำแหน่งผู้ป่วยในการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง⁵² จะให้ระนาบแฟรงเฟิร์ตอยู่ในแนวราบและระนาบแบ่งซ้ายขวาอยู่ในแนวตั้งเช่นเดียวกัน โดยมีเครื่องยึดศีรษะ (head holder, cephalostat) ประกอบด้วยเอียร์ ร็อด ใช้ในการยึดตำแหน่งรูกุเพื่อให้ central ray ผ่านรูกุทั้งสองข้าง ออร์บิทัล พอยเตอร์ (orbital pionter) สำหรับการยึดตำแหน่งของออร์บิทัล (orbitale) หรือใช้ที่ยึดหน้าผากเพื่อยึดตำแหน่งนาซิออน วางฟิล์มตั้งฉากกับลำแสงรังสีเอ็กซ์ทั้งในแนวตั้งและแนวราบ ระนาบแบ่งซ้ายขวาของศีรษะอยู่ห่างจากจุดกำเนิดรังสี 5 ฟุต ส่วนระยะจากระนาบแบ่งซ้ายขวาถึงฟิล์มสามารถจัดได้สองแบบ คือ แบบแรกให้ฟิล์มอยู่ห่างจากระนาบแบ่งซ้าย

ขวาเท่ากันทุกคนเพื่อให้กำลังขยายของภาพรังสีมีมาตรฐานเดียวกัน แบบที่สองให้ฟิล์มอยู่ชิดใบหน้าผู้ป่วยมากที่สุด เพื่อให้ภาพมีความคมชัดมากที่สุด การจัดฟิล์มแบบนี้ต้องมีสเกลวัดปรากฏอยู่บนภาพรังสีด้วย เพื่อให้ผู้วัดสามารถคำนวณระยะปรับกำลังขยายได้

การปรับค่าของรังสีเอ็กซ์

รังสีเอ็กซ์ที่ปลดปล่อยจากเครื่องถ่ายภาพ สามารถปรับได้ด้วยค่า กิโลโวลต์ (kilovoltage (kV)) มิลลิแอมแปร์ (milliamperage (mA)) และ ระยะเวลาการปล่อยรังสี การกำหนดค่าของรังสีเอ็กซ์ขึ้นอยู่กับความไวฟิล์ม ความไวของอินเทนซิฟายอิง สกรีน ระยะทางจากจุดกำเนิดรังสีถึงฟิล์ม และขนาดศีรษะของผู้ป่วย⁵²

ค่ากิโลโวลต์ เป็นค่าที่บ่งบอกคุณสมบัติในการทะลุทะลวงของรังสีเอ็กซ์ ยิ่งค่านี้สูงยิ่งทะลุทะลวงผ่านอวัยวะได้มาก เมื่อรังสีเอ็กซ์สามารถทะลุทะลวงได้มากขึ้น ก็จะทำให้ภาพที่ได้มีความดำ (density) มากขึ้น เพราะมีรังสีตกกระทบฟิล์มมาก และภาพมีคอนทราสต์ต่ำลงหรือมีคอนทราสต์สเกล (contrast scale) มากขึ้น คือมีระดับสีเทาเพิ่มมากขึ้น การพิจารณาปรับค่ากิโลโวลต์ขึ้นอยู่กับความหนาและความทึบรังสีของอวัยวะที่ต้องการถ่าย สามารถพิจารณาได้คร่าว ๆ จากขนาดศีรษะของผู้ป่วย ผู้ป่วยที่มีขนาดใบหน้าและขากรรไกรใหญ่ควรใช้กิโลโวลต์ที่สูงขึ้น ค่ามิลลิแอมแปร์ เป็นค่าที่บ่งบอกถึงปริมาณรังสีที่ถูกปลดปล่อยออกมา ยิ่งค่านี้สูงยิ่งมีปริมาณรังสีมาก ทำให้ภาพที่ได้มีความดำมากขึ้น แต่ไม่มีผลกระทบต่อคอนทราสต์ของภาพ^{52,53} (รูปที่ 26) ส่วนระยะเวลาการปล่อยรังสีควรมีค่าน้อย เพื่อลดความเสี่ยงที่ผู้ป่วยอาจมีการยับยั้งระหว่างถ่ายรังสีซึ่งจะทำให้ภาพไม่ชัดได้⁵²

การดูภาพรังสี

การดูภาพรังสีควรทำในห้องมืดหรือห้องที่มีแสงน้อย กล้องไฟที่ใช้สำหรับดูฟิล์มควรให้แสงที่มีความสม่ำเสมอ และกำหนดขอบเขตให้มีขนาดเท่ากับฟิล์ม หรือบริเวณที่ต้องการดู โดยใช้กระดาษสีดำหรือกระดาษแข็งกั้นไว้ ในการพิจารณาโครงสร้างที่มีขนาดเล็กอาจต้องใช้แว่นขยายร่วมด้วย และภาพที่ได้ควรมีคอนทราสต์สูง ดังนั้นถ้าถ่ายรังสีโดยใช้ค่ากิโลโวลต์สูงเกินไปจะทำให้ไม่เห็นรายละเอียดของโครงสร้างขนาดเล็กได้⁵²



70 kV
10 mA



90 kV
10 mA



90 kV
5 mA

รูปที่ 26 เปรียบเทียบภาพบนซ้ายและขวา พบว่าเมื่อเพิ่มกิโลโวลต์ภาพรังสีมีคอนทราสต์ต่ำลงและความดำเพิ่มขึ้น ทำให้มองเห็นรายละเอียดของฟันได้มากขึ้น แต่มองเห็นเส้นลายกระดูกได้น้อยลง เปรียบเทียบภาพบนขวาและภาพล่าง พบว่าเมื่อลดค่ามิลลิแอมแปร์ภาพจะสว่างมากขึ้นแต่ไม่มีผลต่อคอนทราสต์ นั่นคือยังเห็นรายละเอียดของฟันได้เท่าเดิม และมองเห็นเส้นลายกระดูกได้ชัดเจนด้วย

จาก Chomengo, A. G. Machine factor Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, p. 227. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.

การวัดในภาพรังสีฟานอรามิก

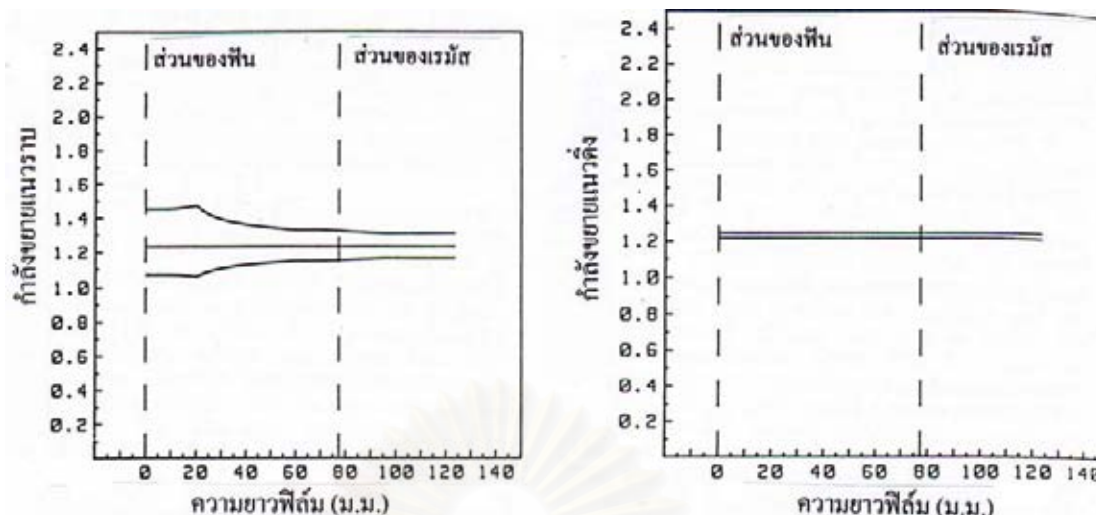
ปัจจุบันนี้ ได้มีการนำภาพรังสีฟานอรามิกมาใช้อย่างกว้างขวาง เพราะสามารถใช้สำรวจโครงสร้างต่าง ๆ ในขากรรไกรบนและล่างได้ในการถ่ายภาพรังสีเพียงครั้งเดียว เป็นการลดปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ ประหยัดเวลาและค่าใช้จ่ายมากเมื่อเทียบกับการถ่ายภาพรังสีในปากหลาย ๆ ภาพ ซึ่งก็ยังไม่ครอบคลุมขากรรไกรเป็นบริเวณกว้างอย่างเช่นในภาพรังสีฟานอรามิก ในทางทันตกรรมจัดฟันใช้ประโยชน์จากภาพรังสีฟานอรามิกในการสำรวจอย่างกว้าง ๆ ถึงพยาธิสภาพภายในขากรรไกร พัฒนาการของการขึ้นของฟัน จำนวนฟัน และความขนานของรากฟัน อย่างไรก็ตาม การใช้ประโยชน์จากภาพรังสีฟานอรามิกเพียงเท่านี้ยังถือว่าค่อนข้างน้อย⁵⁴ เพราะทันตแพทย์ส่วนใหญ่คิดว่า การถ่ายภาพรังสีฟานอรามิกทำให้เกิดการขยายและการบิดเบี้ยวของภาพได้สูง การจัดตำแหน่งผู้ป่วยผิดไปเพียงเล็กน้อยก็จะทำให้ภาพบิดเบี้ยวไป ดังนั้นจึงไม่ได้มีการวัดค่าระยะทางและมุมจากภาพรังสีฟานอรามิกมาใช้ประโยชน์แต่อย่างใด

ในทางปฏิบัติ การวัดค่าระยะทางและมุมจากภาพรังสีฟานอรามิกสามารถกระทำได้ เพราะภาพรังสีฟานอรามิกมีความทน (tolerance) ต่อการเกิดความผิดพลาดในการวัดระดับหนึ่ง ดังนั้นการจัดตำแหน่งผู้ป่วยผิดพลาดเพียงเล็กน้อย จะไม่เกิดผลใด ๆ ต่อการวัด Xie และคณะ⁵⁵ ได้ทำการศึกษากับกะโหลกแห้ง โดยการจัดตำแหน่งให้มาข้างหน้า 5 มิลลิเมตร ไปข้างหลัง 5 มิลลิเมตร เอียงศีรษะขึ้น 5 องศา และลง 5 องศา พบว่าค่าที่วัดระยะในแนวตั้งของขากรรไกรล่างและส่วนหลังของขากรรไกรบนไม่เปลี่ยนแปลงไปจากตำแหน่งที่ 0 มิลลิเมตร และ 0 องศา เช่นเดียวกัน Stramotas และคณะ⁵⁴ ก็พบว่า การเปลี่ยนตำแหน่งของกะโหลกศีรษะเพียงเล็กน้อยไม่มีผลต่อการวัดความยาวและมุมของฟัน โดยเฉพาะในส่วนของฟันกราม การศึกษานี้ทำในแบบจำลองที่แสดงถึงระนาบสบฟัน และแนวแกนฟัน พบว่าเมื่อให้แบบจำลองเอียงขึ้น 8 องศา จะทำให้ความยาวและมุมเฉพาะของฟันหน้าเปลี่ยนแปลงไป แต่ในฟันหลังไม่เปลี่ยนแปลง เนื่องจากเมื่อเงยหน้าขึ้นฟันหน้าจะอยู่นอกบริเวณความชัดทำให้ภาพมีการบิดเบี้ยวและไม่ชัด แต่ในฟันหลังถึงแม้จะเงยหน้าขึ้น ฟันยังอยู่ในบริเวณความชัด จึงทำให้ขนาดและตำแหน่งของภาพไม่แตกต่างกัน ส่วนการเอียงแบบจำลองให้คล้ายกับการเอียงศีรษะไปทางซ้ายและขวา 10 องศา ไม่ทำให้ค่าความยาวและมุมของฟันหน้าแตกต่างไปจากตำแหน่งเริ่มต้น Samawi และ Burke⁵⁶ ได้ทำการศึกษาผลของการเปลี่ยนตำแหน่งศีรษะต่อการวัดค่ามุมต่าง ๆ ในภาพรังสีฟานอรามิก โดยเอียงแบบจำลองในลักษณะเงยหน้า 16 องศา หันหน้าไปทางซ้ายและขวา 10 องศา เคลื่อนศีรษะไปทางซ้ายและขวาด้านละ 10 เซนติเมตร และ เอียงศีรษะไปด้านข้าง 6 องศา พบว่าค่ามุมที่วัดจากบริเวณฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยมีความผันแปร (variability) ได้มากที่สุด ส่วนการวัดมุมที่บริเวณหลังจากฟันกรามซึ่งที่สามเป็นต้น ไปมีความผันแปรได้น้อยที่สุด อีกทั้งขอบล่างของขากรรไกรล่างและขอบหลังของเรมัส

เป็นโครงสร้างที่ค่อนข้างคงที่ ทำให้ค่ามุมโกเนี่ยลไม่เปลี่ยนแปลง ถึงแม้จะเปลี่ยนตำแหน่งของศีรษะไปในลักษณะต่าง ๆ กันก็ตาม สอดคล้องกับการศึกษาของ Larheim และ Svanaes⁴⁰ กล่าวคือ เมื่อเงยศีรษะขึ้น 15 องศา ค่ามุมโกเนี่ยล และระยะในแนวโค้งที่วัดจากจุดสูงสุดของหัวคอนคาล์ถึงจุดโกเนี่ยลไม่มีความแตกต่างกัน โดยเฉพาะค่ามุมโกเนี่ยลมีการเปลี่ยนแปลงน้อยมาก และมีค่าใกล้เคียงกับมุมที่วัดได้จากกะโหลกแห้งโดยตรง

จากหลักการเรขาคณิตของการฉายภาพ (projection geometry) ทำให้ทราบว่า การวัดระยะในแนวโค้ง จะได้ระยะมากที่สุดเมื่อวัดตั้งฉากกับลำแสงรังสี เมื่อใดที่วัดเอียงจะทำให้ระยะที่วัดได้ลดลง เมื่อนำหลักการนี้มาใช้ในการวัดระยะในแนวโค้งบนขากรรไกรล่างซึ่งมีความเอียงของเริ่มสที่แตกต่างกันไปในแต่ละบุคคล หรือแม้แต่ในบุคคลเดียวกันก็อาจเกิดความผิดพลาดจากตำแหน่งศีรษะได้อีก จึงเกิดความสงสัยว่าการวัดระยะในแนวโค้งบนภาพรังสีพานอรามิกมีความน่าเชื่อถือมากน้อยเพียงใด จากการศึกษาของ Tronje และคณะ⁵⁷ พบว่าถ้ายอมรับความผิดพลาดได้ที่ไม่เกิน 10% ความเอียงของวัตถุสามารถเปลี่ยนแปลงได้ดังนี้คือ ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัดวัตถุมีความเอียงได้ตั้งแต่ -20 ถึง 30 องศาที่ตำแหน่งห่างจากระนาบกลาง 1 เซนติเมตรทางใกล้ฟิล์ม วัตถุมีความเอียงได้ตั้งแต่ -15 ถึง 30 องศา และที่ตำแหน่งห่างจากระนาบกลาง 1 เซนติเมตรทางใกล้หัวหลอดรังสี วัตถุมีความเอียงได้ตั้งแต่ -20 ถึง 35 องศา ดังนั้นถ้ามุมตกกระทบของลำแสงรังสีกับวัตถุอยู่ในช่วงดังกล่าว การวัดระยะและมุมจะมีความน่าเชื่อถืออยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยสรุปแล้ว ความน่าเชื่อถือของการวัดระยะในแนวโค้งและมุมในภาพรังสีพานอรามิก ขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 ประการคือ การจัดตำแหน่งผู้ป่วย และ หลักเรขาคณิตของการฉายภาพนั่นเอง

Welander⁵⁸ และ Langland และคณะ⁴³ กล่าวว่า การวัดระยะในภาพรังสีพานอรามิก ทำได้เพียงการวัดในแนวโค้งเท่านั้น การวัดในแนวราบไม่สามารถกระทำได้ เนื่องจากไม่มีความเที่ยงหรือความน่าเชื่อถือเพียงพอ สาเหตุที่การวัดในแนวราบไม่มีความน่าเชื่อถือเป็นเพราะ นอกจากจะมีการขยายขนาดของภาพไปตามหลักเรขาคณิตของการฉายภาพแล้ว ขนาดของภาพยังเปลี่ยนแปลงไปตามความสัมพันธ์ของความเร็วในการหมุนของหัวหลอดรังสีและฟิล์มด้วย ดังนั้นการเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุเพียงเล็กน้อยจึงทำให้ขนาดของภาพในแนวราบเปลี่ยนแปลงไปได้มาก ส่วนขนาดของภาพในแนวโค้งขึ้นอยู่กับหลักเรขาคณิตของการฉายภาพเพียงประการเดียว จึงทำให้การเปลี่ยนตำแหน่งของวัตถุภายในบริเวณความชัดไม่มีผลต่อขนาดของภาพมากนัก McDavid และคณะ⁵⁹ ได้แสดงถึงช่วงกำลังขยายของภาพรังสีพานอรามิกในแนวราบและแนวโค้ง ที่ระนาบกลางของบริเวณความชัดและห่างจากระนาบกลาง ± 5 มิลลิเมตร เมื่อพิจารณากำลังขยายในแนวราบพบว่าในแนวโค้งฟัน (dental arch) มีกำลังขยายเปลี่ยนแปลงได้มาก โดยเฉพาะส่วนหน้าของ



รูปที่ 27 ซ้าย – แสดงช่วงกำลังขยายเนวราบในส่วนของเรมีตเปลี่ยนแปลงได้น้อยกว่าในส่วนหน้าของขากรรไกร ขวา – แสดงช่วงกำลังขยายในเนวคิงซึ่งเปลี่ยนแปลงได้น้อย และคงที่ตลอดทั้งขากรรไกร

จาก McDavid, W. D.; Tronje, G., and Welander, U. A method to maintain a constant magnification factor throughout the exposure of rotational panoramic radiographs.

Dentomaxillofac Radiol 18 (November 1989): 164.

ขากรรไกร แต่ในส่วนเรมีตกำลังขยายเปลี่ยนแปลงได้น้อยลง และเมื่อพิจารณาในเนวคิง พบว่ากำลังขยายจะเปลี่ยนแปลงในช่วงแคบ ๆ ตลอดทั้งขากรรไกร (รูปที่ 27)

Larheim และ Svanaes⁴⁰ (1986) ได้ศึกษาเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือในการวัดค่ามุม และระยะในเนวคิงกับเนวราบชนิดที่ไม่ข้ามเส้นกึ่งกลางใบหน้าจากภาพรังสีพานอราไมก พบว่าระยะในเนวราบมีความน่าเชื่อถือไม่เพียงพอสำหรับการใช้งาน โดยพิจารณาจากความแปรปรวนของการวัด (method error) ถ้ามีค่าไม่เกินร้อยละ 3 ของความแปรปรวนทั้งหมด ถือว่าเป็นการวัดที่มีความน่าเชื่อถือสูง แต่ถ้ามีค่าเกินร้อยละ 10 ของความแปรปรวนทั้งหมดแสดงว่าเป็นการวัดที่ไม่ควรนำมาใช้⁶⁰ จากการศึกษา⁶⁰ ได้ผลว่าระยะในเนวราบมีความแปรปรวนของการวัดเกินร้อยละ 10 ส่วนค่าระยะในเนวคิงและค่ามุมส่วนใหญ่แล้วมีความแปรปรวนของการวัดไม่เกินร้อยละ 3 ผู้วิจัยจึงสรุปว่าการวัดค่าต่าง ๆ บนภาพรังสีพานอราไมกสามารถทำได้เฉพาะค่ามุมและระยะในเนวคิงเท่านั้น การวัดระยะในเนวราบไม่สามารถกระทำได้ Chuenchompoonut และคณะ³⁹ พบว่าการวัดระยะเนวคิงในส่วนหลังของขากรรไกรล่างจะมีความเที่ยงตรงมากกว่าในส่วนหน้าของขากรรไกร

Akcam และคณะ⁶¹ ได้ทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของค่าต่าง ๆ ที่วัดในภาพรังสีพานอ-รามิก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง โดยใช้สมการความถดถอย พบว่าค่ามุมระนาบฐานกะโหลกส่วนหน้ากับระนาบขากรรไกรล่าง (S-N/Go-Gn) และค่ามุมระนาบขากรรไกรบนกับขากรรไกรล่าง (ANS-PNS/Go-Me) มีความสัมพันธ์กับค่ามุมความเอียงของคอนคายล์ในภาพรังสีพานอรามิก (จุดบนสุดของหัวคอนคายล์ – จุดกึ่งกลางของคลองขากรรไกรล่าง(mandibular canal) – รูเมนทอล (mental foramen)) แต่ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าค่อนข้างต่ำ คือ ร้อยละ 20.6 และ ร้อยละ 15.6 ตามลำดับ และผู้วิจัยพบว่าค่ามุมความเอียงของคอนคายล์ด้านซ้ายและขวาในภาพรังสีพานอรามิกมีความแตกต่างกันเล็กน้อย ในขณะที่ค่ามุมโกเนียของด้านซ้ายและขวาไม่แตกต่างกัน ถึงแม้ว่าผลการศึกษานี้จะยังไม่สามารถนำสมการความถดถอยไปใช้ได้เนื่องจากมีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำ แต่ก็ถือเป็นก้าวแรกของความพยายามในการนำข้อมูลจากภาพรังสีพานอรามิกมาหาความสัมพันธ์กับภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากร และ ตัวอย่าง

ประชากร

คนไทยที่ได้รับการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และ ฟานอรามิก ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีนอกปากชนิดพลอนเมกา โปรสแกน (Planmeca Proscan)

ตัวอย่าง

ผู้ป่วยของภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในช่วงปี พ.ศ. 2545 - 2546 ที่ได้รับการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และ ฟานอรามิก ด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีชนิดพลอนเมกา โปรสแกนในวันเดียวกัน และมีคุณสมบัติตามเกณฑ์ในการคัดเลือกตัวอย่าง

ตัวอย่างในการศึกษานี้มี 2 กลุ่ม กลุ่มแรกใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าระยะปรับแนวตั้ง และกลุ่มที่ 2 ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง

กลุ่มที่ 1 มีจำนวน 100 คน และกลุ่มที่ 2 มีจำนวน 50 คน

เทคนิคในการเลือกตัวอย่าง

เลือกตัวอย่างโดยไม่อาศัยทฤษฎีความน่าจะเป็น (non – probability sampling) ด้วยวิธีการเลือกแบบสะดวก (convenience sampling) การแบ่งกลุ่มใช้ตามลำดับผู้ป่วยที่ได้รับการวัดขนาดขากรรไกรล่างจากใบหน้า โดยผู้ป่วย 100 คนแรกอยู่ในกลุ่มที่ 1 และผู้ป่วยอีก 50 คนต่อมาอยู่ในกลุ่มที่ 2

เกณฑ์ในการคัดเลือกตัวอย่างเข้ามาศึกษา

1. มีความสมดุลของใบหน้าด้านซ้ายและขวา โดยเมื่อสังเกตจากใบหน้าผู้ป่วยโดยตรงแล้ว ไม่พบลักษณะบิดเบี้ยวของขากรรไกรล่างไปข้างใดข้างหนึ่ง
2. ไม่เคยผ่าตัดขากรรไกรมาก่อน
3. ไม่มีพยาธิสภาพของข้อต่อขากรรไกร

4. มีโอเวอร์เจทตั้งแต่ 0 มิลลิเมตรขึ้นไป
5. ถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และพานอรามิกด้วยเครื่องถ่ายภาพรังสีเอกภาพชนิด Planmeca Proscan ของภาควิชารังสีวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในวันเดียวกัน โดยภาพรังสีทั้งสองต้องมีคุณสมบัติดังนี้
 - 5.1) ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง สามารถมองเห็นภาพหัวคอนดอยล์ ขอบหลังของเรมัส และขอบล่างของขากรรไกรล่างได้อย่างชัดเจน ผู้ป่วยสบฟันในศูนย์ (centric occlusion)
 - 5.2) ภาพรังสีพานอรามิก สามารถมองเห็นหัวคอนดอยล์ และส่วนของเรมัสได้อย่างชัดเจน ภาพรังสีไม่มีการเหลื่อมล้ำของการบิดเบี้ยวด้านซ้ายและขวา โดยสังเกตจากความชัดของฟันที่อยู่ในแนวโค้งฟัน (dental arch) จะต้องมีความชัดเท่าเทียมกันทั้งสองด้าน และฟันหน้าล่างอยู่ในบริเวณความชัด โดยสังเกตได้จากตัวฟันของฟันหน้าล่างมีความชัดเจนในภาพรังสี

วิธีวัดขนาดของขากรรไกรล่างจากใบหน้าผู้ป่วย

ทำการวัดขนาดของขากรรไกรล่างจากใบหน้าผู้ป่วย 2 ค่า คือ ระยะระหว่างหัวคอนดอยล์ และ ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ผู้ป่วยที่ยังมีการเจริญเติบโตของร่างกาย กล่าวคือมีอายุไม่เกิน 18 ปี ในเพศหญิง และ 20 ปีในเพศชาย จะต้องทำการวัดขนาดขากรรไกรล่างจากใบหน้าในวันเดียวกัน กับที่ถ่ายภาพรังสี ส่วนผู้ป่วยที่มีอายุเกินจากนี้ หรือหมดการเจริญเติบโตของร่างกายแล้ว สามารถทำการวัดขนาดขากรรไกรล่างได้ภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 ปีหลังจากที่ถ่ายภาพรังสี

วิธีการวัดระยะระหว่างหัวคอนดอยล์

- ใช้นิ้วมือคลำหัวคอนดอยล์บริเวณหน้าหูทั้งสองข้าง แล้วใช้ดินสอกำหนดจุดไว้
- ใช้เครื่องเฟซโบว์ (face-bow) เป็นเครื่องมือวัด โดยให้ส่วนของเอียร์ พีซ (ear piece) อยู่ตรงกับหัวคอนดอยล์ที่กำหนดจุดไว้ ให้เอียร์ พีซ กดเนื้อเยื่ออ่อนลงไปมากที่สุด เท่าที่ผู้ป่วยจะไม่เจ็บ
- นำเฟซโบว์ออกจากใบหน้าผู้ป่วย บันทึกค่าจากไม้บรรทัด 2 ข้าง แล้วนำค่านี้ไปคำนวณระยะห่างระหว่างเอียร์ พีซ ทั้ง 2 ข้าง ได้เป็นระยะระหว่างหัวคอนดอยล์
- วัดซ้ำอีกครั้ง โดยเลื่อนเอียร์ พีซออกไปด้านข้างจนสุด แล้วนำไปวัดระยะระหว่างหัวคอนดอยล์ใหม่
- หาค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างหัวคอนดอยล์จากการวัดทั้ง 2 ครั้ง

วิธีการวัดระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง

- ใช้นิ้วมือคลำมุมของขากรรไกรล่างทั้งสองข้าง แล้วใช้ดินสอกำหนดจุดไว้

- ใช้เครื่องเฟซโบว์(face-bow) เป็นเครื่องมือวัด โดยให้ส่วนของเอียร์ พีซ (ear piece) อยู่ตรงกับมุมขากรรไกรล่างที่กำหนดจุดไว้ ให้เอียร์ พีซ กดเนื้อเยื่ออ่อนลงไปมากที่สุด เท่าที่ผู้ป่วยจะไม่เจ็บ
- นำเฟซโบว์ออกจากใบหน้าผู้ป่วย บันทึกค่าจากไม้บรรทัด 2 ข้าง แล้วนำค่านี้ไปคำนวณระยะห่างระหว่างเอียร์ พีซ ทั้ง 2 ข้าง ได้เป็นระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง
- วัดซ้ำอีกครั้ง โดยเลื่อนเอียร์ พีซออกไปด้านข้างจนสุด แล้วนำไปวัดระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างใหม่
- หาค่าเฉลี่ยของระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างจากการวัดทั้ง 2 ครั้ง

วิธีวัดขนาดขากรรไกรล่างจากภาพรังสี

จากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง จะทำการวัด 2 ค่า คือ ระยะฟันหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนियोอน (gonion) และ มุมโกนियोล (gonial angle) ส่วนภาพรังสีพานอราไมกทำการวัด 1 ค่า คือ ความสูงเรมัส

วิธีการวัดระยะฟันหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนियोอน

วัดระยะห่างจากจุดโกนियोอนในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างมายังเส้นที่ลากในแนวตั้งจากปลายฟันหน้าล่าง

วิธีการวัดมุมโกนियोล

มุมโกนियोลเป็นมุมที่เกิดจากการตัดกันของเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่าง กับเส้นที่ลากจากจุดอาร์ติคูลาเรย์ (articulare) มาสัมผัสขอบหลังขากรรไกร ทั้งนี้การวาดรูปร่างขากรรไกรล่างจะต้องเฉลี่ยสายของด้านซ้ายและขวาแล้ว

วิธีการวัดความสูงเรมัส

วัดความสูงจากจุดสูงสุดคอนคายล์เฉลี่ยซ้ายและขวาในภาพรังสีพานอราไมก มายังจุดโกนियोอนที่เฉลี่ยครั้งสุดท้าย (รายละเอียดจะกล่าวถึงในหัวข้อวิธีการถ่ายภาพทอคาภาพหัวคอนคายล์)

วิธีการถ่ายภาพหัวคอนดายล์

การถ่ายภาพทอภาพหัวคอนดายล์เป็นการจัดกระทำภาพลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และพานอรามิก เพื่อหาค่าระยะปรับแนวโค้ง

1. ลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง บริเวณคอนดายล์ ขอบหลังเรมัส ขอบล่างขากรรไกรล่าง และพื้นหน้าล่าง ลอกลายจำนวน 2 ภาพ แต่ละภาพกำหนดจุดอาร์ติคิวลาเรย์ และจุดสูงสุดคอนดายล์
 2. กำหนดจุดโกนีออน – เซฟ ในภาพลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างแต่ละภาพ จากการแบ่งครึ่งมุมของจุดเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่าง กับเส้นที่ลากจากจุดอาร์ติคิวลาเรย์มาสัมผัสขอบหลังขากรรไกร จากกระบวนการนี้จะได้ค่ามุมโกเนียลด้วย บันทึกค่าเฉลี่ยมุมโกเนียล (รูปที่ 28)
 3. วัดระยะพื้นหน้าล่างแนวโค้งถึงโกนีออนจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างแต่ละภาพ โดยวัดจากเส้นแนวโค้งปลายพื้นหน้าล่าง ไปยัง โกนีออน – เซฟ แล้วบันทึกค่าเฉลี่ย (มิลลิเมตร) (รูปที่ 28)
 4. ซ้อนทับภาพลอกลายเซฟาโลเมตริกด้านข้าง โดยใช้จุดสูงสุดคอนดายล์ ขอบหลังของหัวคอนดายล์และเรมัสเป็นเกณฑ์ เฉลี่ยจุดโกนีออน-เซฟ
 5. ลอกลายภาพรังสีพานอรามิก บริเวณคอนดายล์ ขอบหลังเรมัส ขอบล่างขากรรไกรล่างมาจนถึงจุดตัดขอบหน้าเรมัสในแนวโค้ง ลอกลายด้านซ้ายและขวา ด้านละ 2 ภาพ รวมเป็น 4 ภาพ แต่ละภาพกำหนดจุดสูงสุดคอนดายล์
 6. กำหนดจุดโกนีออน - พานอรามิก ในภาพลอกลายภาพรังสีพานอรามิก จากการแบ่งครึ่งมุมของเส้นสัมผัสขอบล่างขากรรไกรล่าง กับเส้นที่ลากสัมผัสขอบหลังขากรรไกรและคอนดายล์ (รูปที่ 29)
 7. นำภาพลอกลายพานอรามิกแต่ละด้านซ้อนทับกัน โดยใช้จุดสูงสุดและขอบหลังของหัวคอนดายล์เป็นเกณฑ์ เฉลี่ยจุดโกนีออนของแต่ละด้าน
 8. นำภาพลอกลายพานอรามิกที่กำหนดจุดโกนีออนเฉลี่ยแล้วของด้านซ้ายและขวามาซ้อนทับกัน โดยใช้จุดสูงสุดคอนดายล์ ขอบหลังของคอนดายล์และขอบหลังเรมัสส่วนใต้ต่อคอนดายล์เป็นเกณฑ์ แล้วเฉลี่ยจุดโกนีออนอีกครั้ง (รูปที่ 30)
- ในกรณีที่จุดสูงสุดคอนดายล์ ขอบหลังของคอนดายล์และเรมัสส่วนต้น ไม่สามารถซ้อนทับกันได้พอดี ให้ซ้อนทับที่เส้นสัมผัสขอบหลังเรมัสและให้จุดสูงสุดคอนดายล์ทั้งสองอยู่บนเส้นตั้งฉากเส้นสัมผัสนี้ จากนั้นจึงเฉลี่ยจุดสูงสุดคอนดายล์ และวาดเส้นเฉลี่ยขอบหลังคอนดายล์และเรมัสส่วนต้นอีกครั้งหนึ่ง (รูปที่ 31)

9. ลากเส้นความสูงเริ่มสในภาพลอกลายพานอรามิกจากจุดสูงสุดคอนคายล์ มายังจุดโกนีออน – พานอรามิกที่เฉลี่ยครั้งสุดท้าย วัดระยะทางเพื่อบันทึกค่าความสูงเริ่มส (มิลลิเมตร) (รูปที่ 30)
10. นำภาพลอกลายเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ที่เฉลี่ยจุดโกนีออน-เซฟแล้ว ซ้อนทับกับภาพลอกลายพานอรามิกในข้อ 9 โดยใช้จุดสูงสุดของหัวคอนคายล์ และขอบหลังเริ่มสส่วนที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 เซนติเมตร เป็นเกณฑ์ (รูปที่ 32)
11. วัดระยะระหว่างจุดโกนีออน – เซฟ และโกนีออน – พานอรามิก ตามเส้นความสูงเริ่มส บันทึกเป็นค่าระยะปรับแนวคิง (มิลลิเมตร) (รูปที่ 32)



รูปที่ 28 แสดงการกำหนดจุดโกนีออน – เซฟ ในภาพลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง และระยะพื้นหน้าล่างแนวคิงถึงโกนีออน

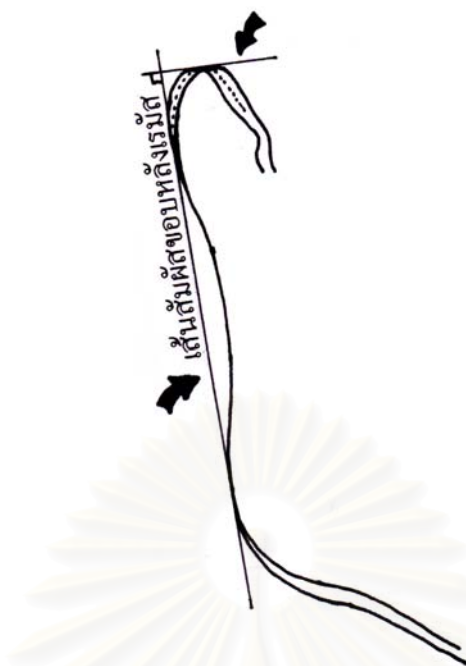
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



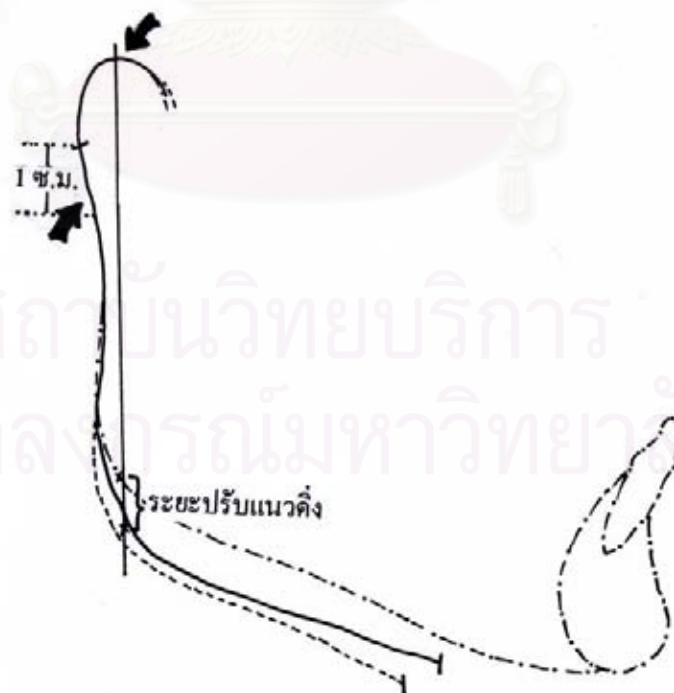
รูปที่ 29 แสดงการลอกถ่ายภาพรังสีพานอรามิก บริเวณคอนคายล์ ขอบหลังเรมีส ขอบล่าง
ขากรรไกรล่างมาจนถึงจุดตัดขอบหน้าเรมีสในแนวตั้ง และการกำหนดจุดโกน็อน - พานอรามิก



รูปที่ 30 แสดงการซ้อนทับภาพลอกถ่ายพานอรามิกด้านซ้ายและขวาโดยใช้จุดสูงสุดของหัวคอนคายล์
ขอบหลังของคอนคายล์และขอบหลังเรมีสส่วนใต้ต่อคอนคายล์เป็นเกณฑ์ แล้วเฉลี่ยจุดโกน็อนอีกครั้ง



รูปที่ 31 แสดงในกรณีที่จุดสูงสุดคอนคายล์ ขอบหลังของคอนคายล์และเริ่มส่วต้นจากภาพรังสีพานอรามิคไม่สามารถซ้อนกันได้พอดี ให้ซ้อนทับที่เส้นสัมผัสขอบหลังเริ่มตัดและให้จุดสูงสุดคอนคายล์ทั้งสองอยู่บนเส้นตั้งฉากเส้นสัมผัสนี้ จากนั้นจึงเฉลี่ยจุดสูงสุดคอนคายล์ และวาดเส้นเฉลี่ยขอบหลังคอนคายล์และเริ่มส่วต้นอีกครั้งหนึ่ง



รูปที่ 32 แสดงการซ้อนทับภาพลอกฉายพานอรามิค กับเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพื่อหาระยะปรับแนวตั้ง โดยซ้อนทับที่จุดสูงสุดคอนคายล์และขอบหลังเริ่มส่วต้นที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลาเรย์ 1 เซนติเมตร

ตัวแปรในการวิจัย

ตัวแปรอิสระ

- ระยะระหว่างหัวคอนดายล์
- ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง
- ระยะพื้นหน้าล่างแนวคิงถึง โคนีออน
- มุม โคนีเยล (gonial angle)
- ความสูงเรมีส (ramus height)

ตัวแปรตาม

ระยะปรับแนวคิง

ตัวแปรที่ต้องควบคุม

ตัวแปรที่ต้องควบคุม ประกอบด้วย ความคลาดเคลื่อนทางระบบ (systematic error) และความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

1. ความคลาดเคลื่อนทางระบบ (systematic error)

1.1 ความน่าเชื่อถือของผู้วิจัย (intraoperator reliability)

ทำการทดสอบก่อน

1.2 ความมีอคติ (bias)

ใช้เทคนิคบอด (blind technique) ในการถ่ายภาพหัวคอนดายล์ คือ ผู้วิจัยจะทำการถ่ายภาพหัวคอนดายล์ และวัดระยะปรับในแนวคิง โดยไม่ทราบขนาดขากรรไกรที่วัดจากใบหน้าของตัวอย่าง จนกระทั่งในขั้นตอนการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

2. ความคลาดเคลื่อนอย่างสุ่ม (random error)

2.1 การวัด

ใช้ไม้บรรทัดซึ่งวัดได้ละเอียด 0.5 มิลลิเมตร ขณะวัดต้องจัดให้มีแสงสว่างเพียงพอ

2.2 ความยากในการกำหนดจุดสังเกตทางกายวิภาค

ถึงแม้ว่าธรรมชาติของกายวิภาคที่ทำการศึกษาทำให้เกิดความผิดพลาดในการกำหนดจุดได้สูง แต่ในขณะที่ลอกลายภาพรังสี กำหนดจุด ไปจนถึงการถ่ายภาพหัวคอนดายล์จะ ต้องกำหนดสถานะให้เหมาะสม และมีนิยามในการกำหนดจุด หรือ วิธีการถ่ายภาพอย่างรัดกุม

2.3 คุณภาพของภาพรังสี

ทางคลินิกรังสีวิทยามีการควบคุมมาตรฐานของการถ่ายภาพรังสี และการใช้ชนิดของฟิล์มที่มีความสอดคล้องกับอินเทนซิฟายอิง สกรีน (intensifying screen) นอกจากนี้ภาพรังสีต้องมีคุณสมบัติที่กำหนดไว้ในเกณฑ์คัดเข้า

วิธีการทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้วิจัย (intraoperator reliability)

การทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้วิจัยเป็นการตรวจสอบความคลาดเคลื่อนทางระบบอันเนื่องมาจากตัวผู้วัดว่าในการวัดขนาดขากรรไกรล่างจากใบหน้าผู้ป่วย และการหาค่าระยะปรับในแนวดิ่งจากการถ่ายภาพหัวคอนดายล์นั้น ผู้วัดหรือผู้วิจัยมีความน่าเชื่อถือเพียงพหรือไม่ การทดสอบนี้ทำในตัวอย่าง 30 คนแรกที่เก็บข้อมูลได้ โดยวัดระยะระหว่างหัวคอนดายล์และมุมขากรรไกรล่าง 2 ครั้ง และถ่ายภาพหัวคอนดายล์เพื่อหาค่าระยะปรับแนวดิ่งซ้ำ 2 ครั้ง ห่างกัน 2 สัปดาห์ จากนั้นนำค่าที่วัดได้มาเปรียบเทียบกับวิธีการทางสถิติต่อไป

วิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับความน่าเชื่อถือของผู้วิจัย ทำการเปรียบเทียบค่าวัดทั้งสองโดยใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ (paired t-test) และสูตรของดาห์ลเบิร์ก (Dahlberg's formula) เพื่อหาค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (standard error)

$$\text{Error variance} = \frac{\sum d^2}{2n} \quad \begin{array}{l} d \text{ คือความแตกต่างในการวัดสองครั้ง} \\ n \text{ คือจำนวนตัวอย่าง} \end{array}$$

จากสูตรนี้สามารถหาค่าความผิดพลาดมาตรฐาน (standard error) ได้โดย

$$\begin{aligned} \text{Standard error} &= \sqrt{\text{error variance}} \\ &= \sqrt{(\sum d^2 / 2n)} \end{aligned}$$

ค่าระยะปรับแนวดิ่งที่ได้จากการถ่ายภาพหัวคอนดายล์ของตัวอย่าง 100 คนแรกนำมาใช้ในการสร้างสมการทำนายค่าระยะปรับแนวดิ่ง ด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน (multiple regression) โดยใช้ตัวแปรอิสระทั้งห้า คือ ระยะห่างระหว่างหัวคอนดายล์ ระยะห่างระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ระยะฟันหน้าล่างแนวดิ่งถึงโกนีออน มุมโกเนียล และ ความสูงเรมัส

เมื่อได้สมการทำนายค่าระยะปรับแนวดิ่งแล้ว ทำการทดสอบความถูกต้องของค่าที่ทำนายได้กับตัวอย่างอีก 50 คนต่อมา โดยเปรียบเทียบค่าระยะปรับแนวดิ่งที่หาได้จากการถ่ายภาพหัวคอนดายล์ กับค่าที่ได้จากการแทนค่าตัวแปรในสมการ การเปรียบเทียบนี้ใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ พิจารณาหาผลต่างของแต่ละคู่ แล้วแสดงผลเป็นอันตรภาคชั้นของความถี่ และใช้สูตรของดาห์ลเบิร์กเพื่อหาค่าความผิดพลาดในการหา

ค่าระยะปรับแนวตั้งจากการใช้สมการทำนาย นอกจากนี้ ให้รายงานจำนวนตัวอย่างเป็นร้อยละ ที่สามารถซ้อนทับภาพลายเส้นหัวใจคอนดایتของเซฟาโลเมตริก กับ ฟานอรัมิก ตั้งแต่จุดสูงสุดคอนดایتจนถึงขอบหลังเรมัสซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลาเรย์ 1 เซนติเมตรได้สนิทพอดีอีกด้วย

เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เครื่องถ่ายภาพรังสีนอกปาก Planmeca Proscan ที่คลินิกภาควิชารังสีวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ฟิล์มขนาด 18x24 เซนติเมตร และ 15x30 เซนติเมตร สำหรับถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริก ด้านข้าง และ ภาพรังสีฟานอรัมิก จากบริษัทผู้ผลิต โกดัก รุ่น ลาน็อกซ์ (Lanex)
- อินเทนซิฟายอิง สกรีน ชนิดเร เอิร์ท (rare earth) ที่มีความไวปานกลาง พร้อมคาสเซต (cassette) บรรจุฟิล์ม
- กล่องไฟสำหรับคุณภาพรังสี
- กระดาษลอกลายอะซีเตต (acetate tracing paper)
- เทปกาวนิตโต (nitto tape)
- ดินสอดำปลายแหลม ความเข้ม HB
- ดินสอสีละลายน้ำ สำหรับกำหนดจุดหัวใจคอนดایت และ มุมขากรรไกรล่างบนใบหน้าผู้ป่วย
- ไม้บรรทัดสำหรับวัดระยะทางและมุม มีความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร และ องศา
- เครื่องเฟซโบว์ สำหรับการวัดระยะห่างคอนดایت และ มุมขากรรไกรล่างจากใบหน้าผู้ป่วย

ปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสี

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณรังสีที่ใช้ในการถ่ายภาพรังสีฟานอรัมิก และเซฟาโลเมตริกด้านข้าง

	ภาพรังสีฟานอรัมิก		ภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง		
	กิโลโวลท์	มิลลิแอมแปร์	กิโลโวลท์	มิลลิแอมแปร์	เวลา (วินาที)
เด็กอายุ 7 – 12 ปี	64	6	68	12	0.4
ผู้ใหญ่รูปร่างเล็ก	66	7	68	12	0.6
ผู้ใหญ่	70	8	70	12	0.8
ผู้ใหญ่รูปร่างใหญ่	72	10	72	12	1.0

(จาก คู่มือการใช้งานเครื่องถ่ายภาพรังสีพลอนเมกา โปรสแกน ค.ศ.1996)

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย

ได้ทำการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย 3 ค่าวัด คือ ค่าระยะระหว่างหัวคอนดาขัล ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ซึ่งวัดจากใบหน้าผู้ป่วย และ ระยะปรับแนวคิ่งที่ได้จากการถ่ายภาพหัวคอนดาขัล สถิติที่นำมาใช้ทดสอบ คือ การทดสอบของคาห์ลเบิร์ก และการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่

จากการทดสอบด้วยสูตรของคาห์ลเบิร์กพบว่าระยะระหว่างหัวคอนดาขัลมีความผิดพลาดจากการวัด 0.25 มิลลิเมตร ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างมีความผิดพลาดจากการวัด 0.33 มิลลิเมตร และระยะปรับแนวคิ่งมีความผิดพลาด 0.28 มิลลิเมตร ในการวิจัยนี้ใช้ความละเอียดที่ 0.5 มิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อผลลัพธ์จากสูตรของคาห์ลเบิร์กมีค่าไม่เกินความละเอียดสูงสุดที่ใช้วัดแล้ว แสดงว่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

เมื่อทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ โดยใช้ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 พบว่าการวัดค่าทั้งสามซ้ำสองครั้งนั้น ไม่มีความแตกต่างกัน (ภาคผนวก ก)

สรุปได้ว่าผู้วิจัยสามารถวัดค่าระยะระหว่างหัวคอนดาขัล ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง และ ระยะปรับแนวคิ่ง ได้อย่างมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ

ผลการสร้างสมการทำนายค่าระยะปรับแนวคิ่ง

สร้างสมการจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบสเตปไวส์ (stepwise) โดยใช้ตัวแปรอิสระทั้งห้า คือ ระยะห่างระหว่างหัวคอนดาขัล ระยะห่างระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ระยะฟันหน้าล่างแนวคิ่งถึงโกนีออน มุมโกเนียล และ ความสูงเรมัส พบว่าเมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวน มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัวมีความสัมพันธ์กับระยะปรับแนวคิ่ง (ตารางที่ 2) และได้เป็นสมการเส้นตรงดังนี้ (ตารางที่ 3)

$$\text{ระยะปรับแนวคิ่ง} = -17.793 + 0.239\text{ความสูงเรมัส} + 0.0748\text{มุมโกเนียล}$$

ตัวแปรความสูงเรมัส และ มุมโกเนียล มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับระยะปรับแนวคิ่ง อย่างมีนัยสำคัญ และสมการเส้นตรงนี้มีจุดตัดแกน y ที่ -17.793 ตัวแปรอิสระทั้งสองนี้ไม่มีความสัมพันธ์กันเอง หรือไม่มีมัลติโคลิเนียริตี (multicollinearity) ซึ่งพิจารณาจากค่าโทเลอแรนซ์ (tolerance) และ วีไอเอฟ (VIF) ที่มีค่าเข้าใกล้ 1 สมการนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (adjusted R square) ร้อยละ 67.9 และค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกันหรือไม่มีออโตคอร์เรเลชัน (autocorrelation) เนื่องจากได้ค่าเดอว์บิน - วัตสัน (Durbin-Watson) 2.047 ซึ่งอยู่ระหว่าง d_u ถึง d_l คือ 1.69 ถึง 2.31 (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า มีตัวแปรอิสระอย่างน้อย 1 ตัว ที่มีความสัมพันธ์กับตัวแปรตามอย่างมีนัยสำคัญ

ANOVA^c

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	211.219	1	211.219	166.303	.000 ^a
	Residual	124.468	98	1.270		
	Total	335.687	99			
2	Regression	229.948	2	114.974	105.472	.000 ^b
	Residual	105.739	97	1.090		
	Total	335.687	99			

a. Predictors: (Constant), RAMUSPAN

b. Predictors: (Constant), RAMUSPAN, GO_CEPH

c. Dependent Variable: Y

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3 แสดงค่าคงที่และค่าสัมประสิทธิ์ความถดถอย ตัวแปรความสูงเรมีตัส (RAMUSPAN) และ มุมโกเนียล (GO_CEPH) มีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับระยะปรับแนวคิงอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเส้นตรงนี้ตัดแกน y ที่ -17.793 ค่าโทเลอแรนซ์ (tolerance) และวีไอเอฟ (VIF) มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่าตัวแปรอิสระไม่มีความสัมพันธ์กันเอง หรือไม่เกิดปัญหามัลติโคลิเนียริตี

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.	Collinearity Statistics	
		B	Std. Error	Beta			Tolerance	VIF
1	(Constant)	-9.362	1.338		-7.000	.000		
	RAMUSPAN	.252	.020	.793	12.896	.000	1.000	1.000
	GO_CEPH							
2	(Constant)	-17.793	2.382		-7.471	.000		
	RAMUSPAN	.239	.018	.752	12.990	.000	.970	1.031
	GO_CEPH	7.480E-02	.018	.240	4.145	.000	.970	1.031

a. Dependent Variable: Y

ตารางที่ 4 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (adjusted R square) 0.679 และค่าเดอร์บิน – วัตสัน (Durbin-Watson) 2.047

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.793 ^a	.629	.625	1.12698	
2	.828 ^b	.685	.679	1.04408	2.047

a. Predictors: (Constant), RAMUSPAN

b. Predictors: (Constant), RAMUSPAN, GO_CEPH

c. Dependent Variable: Y

ผลการทดสอบความถูกต้องของสมการ

นำข้อมูลจากตัวอย่างจำนวน 50 คนมาทดสอบความถูกต้องของสมการ โดยการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่ได้จากการถ่ายภาพหัวคอนดายล์ (Y) กับค่าที่ได้จากการแทนค่าในสมการ (Y_EQUA) หลังจากทดสอบได้ว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติแล้ว (ภาคผนวก ข) ใช้การทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าระยะปรับแนวคิงที่ได้จาก 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 พบว่าค่าระยะปรับแนวคิงที่ได้จาก 2 วิธี ไม่มีความแตกต่างกัน

Paired Samples Statistics

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Y	7.470	50	1.2012	.1699
	Y_EQUA	7.570	50	1.0643	.1505

Paired Samples Test

		Paired Differences				t	df	Sig. (2-tailed)	
		Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
					Lower				Upper
Pair 1	Y - Y_EQUA	-.100	.9147	.1294	-.360	.160	-.773	49	.443

เมื่อพิจารณาหาส่วนต่างของแต่ละคู่ ได้ผลดังนี้ ตัวอย่างที่มีผลต่างของค่าระยะปรับแนวคิงจากการถ่ายภาพหัวคอนดายล์กับค่าที่ได้จากการแทนค่าในสมการไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร มีจำนวน 30 คน คิดเป็นร้อยละ 60 มีผลต่าง 1 มิลลิเมตร มีจำนวน 7 คน คิดเป็นร้อยละ 14 มีผลต่าง 1.5 มิลลิเมตร มีจำนวน 12 คน คิดเป็นร้อยละ 24 และมีผลต่าง 2 มิลลิเมตร มีจำนวน 1 คน คิดเป็นร้อยละ 2 (ตารางที่ 6) และเมื่อคำนวณด้วยสูตรของดาห์ลเบิร์กพบว่ามีความผิดพลาดมาตรฐานจากการหาค่าระยะปรับแนวคิงด้วยการแทนค่าจากสมการคิดเป็น 0.64 มิลลิเมตร

ตารางที่ 6 แสดงจำนวนตัวอย่างคิดเป็นร้อยละและร้อยละสะสม แบ่งตามส่วนต่างของค่าระยะปรับ แนวตั้งที่ได้จากการถ่ายภาพทอศภาพ กับค่าคำนวณจากสมการ (มิลลิเมตร)

ส่วนต่างของค่าที่ได้จากการถ่ายภาพทอศภาพ กับค่า คำนวณจากสมการ (ม.ม.)	จำนวน (คน)	ร้อยละ	ร้อยละสะสม
0 – 0.5	30	60	60
1	7	14	74
1.5	12	24	98
2	1	2	100
รวม	50	100	

เมื่อทำการสำรวจตัวอย่างที่มีรูปร่างหัวคอนคาล์ตั้งแต่จุดสูงสุดมายังขอบหลังรมัสซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคูลาเรย์ 1 เซนติเมตร จากเซฟาโลเมตริกด้านข้างกับพานอรัมิกเหมือนกันทุกประการจนสามารถซ้อนทับภาพหัวคอนคาล์ของเซฟาโลเมตริกกับพานอรัมิกได้สนิทพอดีนั้น พบว่ามีจำนวน 38 คน คิดเป็นร้อยละ 76

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

จากกลุ่มตัวอย่าง 100 คน ที่ปรากฏรูปร่างของหัวคอนดาตล์ชัดเจนในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างและพานอรามิก และถูกนำมาคิดค้นหาวิธีถ่ายทอดภาพหัวคอนดาตล์นั้น ผู้วิจัยสามารถคิดค้นวิธีการถ่ายทอดรูปร่างของหัวคอนดาตล์จากภาพรังสีพานอรามิก มายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้ โดยพบว่าระยะปรับแนวคิ่งมีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงกับความสูงเรมีสที่วัดจากภาพรังสีพานอรามิก และมุมโกเนียลที่วัดจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง ดังนี้

$$\text{ระยะปรับแนวคิ่ง} = -17.793 + 0.239\text{ความสูงเรมีส} + 0.0748\text{มุมโกเนียล}$$

สมการนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจร้อยละ 67.9 หลังจากนำมาทดสอบความถูกต้องกับกลุ่มตัวอย่างสำหรับทดสอบ 50 คน พบว่าค่าระยะปรับแนวคิ่งที่คำนวณได้จากสมการข้างต้นมีค่าไม่แตกต่างกับค่าระยะปรับแนวคิ่งที่หาได้จากวิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาตล์ โดยสามารถระบุจุดสูงสุดของหัวคอนดาตล์ผิดพลาดไปไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ได้ร้อยละ 60 ส่วนความผิดพลาดมาตรฐานในการกำหนดจุดแต่ละครั้งซึ่งทดสอบจากสูตรของดาห์ลเบิร์กพบว่ามีค่า 0.64 มิลลิเมตร และสามารถถอดภาพหัวคอนดาตล์ตั้งแต่จุดสูงสุดมายังขอบหลังเรมีสซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 เซนติเมตร จากภาพรังสีพานอรามิกมายังภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้ร้อยละ 76

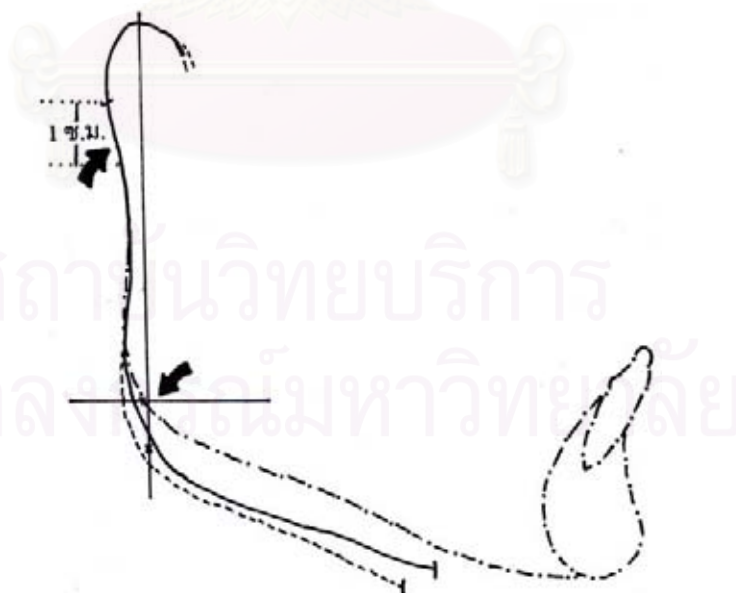
อภิปรายผลการวิจัย

การนำสมการทำนายค่าระยะปรับแนวคิ่งมาใช้ในการถ่ายทอดภาพหัวคอนดาตล์จากภาพรังสีพานอรามิกมายังเซฟาโลเมตริกด้านข้างในกรณีที่ไม่มองเห็นหัวคอนดาตล์ไม่ชัด สามารถทำได้ดังนี้ คือ วัดความสูงเรมีสจากภาพรังสีพานอรามิก และมุมโกเนียลจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพื่อนำมาแทนค่าในสมการ หลังจากได้ค่าระยะปรับแนวคิ่งแล้ว ให้กำหนดจุดบนเส้นความสูงเรมีสห่างจากจุดโกนีออน – พานอรามิกที่เฉลี่ยครั้งสุดท้าย เท่ากับระยะที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความสูงเรมีส (รูปที่ 33) หลังจากนั้น นำภาพถอดทอดพานอรามิกนี้ ไปซ้อนทับกับภาพถอดทอดเซฟาโลเมตริกที่ทำการเฉลี่ยด้านซ้ายและขวาแล้ว โดยให้จุดโกนีออน – เซฟอยู่บนเส้นตั้งฉากความสูงเรมีส และขอบหลังเรมีสที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 เซนติเมตร

ซ้อนกันได้พอดี เมื่อทำได้ดังนี้แล้ว จุดสูงสุดคอนคายล์ของเซฟาโลเมตริกที่เฉลี่ยด้านซ้ายและขวา
แล้วจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดสูงสุดคอนคายล์ของพานอรามิก (รูปที่ 34)



รูปที่ 33 แสดงการกำหนดจุดบนเส้นความสูงเรมัสห่างจากจุดโคนีออน - พานอรามิกที่
เฉลี่ยครั้งสุดท้าย เท่ากับระยะที่คำนวณได้ แล้วลากเส้นตั้งฉากกับเส้นความสูงเรมัส



รูปที่ 34 แสดงการนำภาพลอกฉายพานอรามิกซ้อนทับกับภาพลอกฉายเซฟาโลเมตริกที่ทำการเฉลี่ย
ด้านซ้ายและขวาแล้ว โดยให้จุดโคนีออน - เซฟอยู่บนเส้นตั้งฉากจากความสูงเรมัส และขอบหลังเรมัสที่
อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 ซม. ซ้อนกันได้พอดี เมื่อทำได้ดังนี้แล้ว จุดสูงสุดคอนคายล์ของ
เซฟาโลเมตริกที่เฉลี่ยด้านซ้ายและขวาแล้วจะเป็นจุดเดียวกันกับจุดสูงสุดคอนคายล์ของพานอรามิก

การกำหนดจุดสูงสุดคอนคายล์ด้วยวิธีที่คิดค้นขึ้นนี้มีความผิดพลาดในการกำหนดจุดแต่ละครั้งเฉลี่ย 0.64 มิลลิเมตร ซึ่งมีความผิดพลาดน้อยกว่าการศึกษาของ Trpkova³⁸ ที่พบว่าจุดคอนคายล์อนมีการกำหนดผิดในแนวราบ 1.7 มิลลิเมตร และในแนวตั้ง 2.1 มิลลิเมตร อีกทั้งวิธีที่คิดค้นขึ้นนี้มีโอกาสกำหนดจุดผิดพลาดไปไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตร ได้ร้อยละ 60 ซึ่งการกำหนดจุดผิดพลาดไม่เกิน 0.5 มิลลิเมตรนี้ เป็นค่าที่สามารถยอมรับได้ในทางคลินิก³⁸ นอกจากนี้ยังพบว่าภาพหัวคอนคายล์ตั้งแต่จุดสูงสุดมายังขอบหลังเรมีสซึ่งอยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลารีย์ 1 เซนติเมตร ของภาพรังสีพานอราไมกและภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างมีความเหมือนกันทุกประการร้อยละ 76 ดังนั้นนอกจากจะระบุจุดสูงสุดคอนคายล์ได้แล้ว ยังมีโอกาสถึงประมาณสามในสี่ที่จะสามารถวาดภาพหัวคอนคายล์ได้อย่างสมบูรณ์อีกด้วย

วิธีการถ่ายภาพหัวคอนคายล์ที่คิดค้นขึ้นนี้ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ช่วยแก้ไขปัญหาในการระบุตำแหน่งของหัวคอนคายล์ในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างซึ่งมองเห็นภาพหัวคอนคายล์ไม่ชัดเนื่องจากถูกกระดูกสฟินอยด์ (sphenoid bone) ส่วนเบซิลลา ของกระดูกท้ายทอย (basillar part of occipital bone) และส่วนพีทริส ของกระดูกขมับ (petrous portion of temporal bone) ทั้งสองข้างมาซ้อนทับ ซึ่งทำให้บริเวณนี้มีความทึบรังสีมาก อีกทั้งจุดสูงสุดคอนคายล์เป็นจุดที่ระบุตำแหน่งยาก เนื่องจากหัวคอนคายล์มีรูปร่างโค้ง

วิธีการระบุตำแหน่งของหัวคอนคายล์วิธีอื่น มีข้อเสียหลายประการ ได้แก่ วิธีการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกแบบที่ผู้ป่วยอ้าปากกว้าง^{4,7} หรือยื่นขากรรไกรมาข้างหน้า²⁰ เพิ่มขึ้นอีกหนึ่งภาพเป็นการเพิ่มปริมาณรังสีที่ผู้ป่วยได้รับ เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้น สิ้นเปลืองทรัพยากร นอกจากนี้การถ่ายภาพรังสีแบบอ้าปากก็ไม่ได้เป็นเครื่องยืนยันว่าจะมองเห็นหัวคอนคายล์ชัดเจนทุกราย เพราะถ้าหากถูกบังลงมาจนถึงคอของคอนคายล์ร่วมกับกระดูกส่วนพีทริสและฐานกะโหลกมีความทึบรังสีมากแล้ว เมื่ออ้าปากหัวคอนคายล์อาจยังถูกบดบังอยู่²³ อีกทั้งขณะอ้าปาก ขากรรไกรล่างจะมีการเปลี่ยนตำแหน่งไปจากตำแหน่งสบฟัน ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของภาพที่ปรากฏบนภาพรังสีได้ เมื่อนำภาพขากรรไกรล่างจากภาพรังสีทั้งสองมาซ้อนทับกันอาจไม่สามารถซ้อนทับกันได้สนิทเสมอไป⁷ หรือ การถ่ายภาพรังสีโดยมีแผ่นตะกั่วกัน⁶ ก็เป็นวิธีที่ไม่เหมาะสมนัก เพราะถ้าผู้ป่วยไม่อยู่นิ่งตลอดเวลาที่ถ่ายแล้ว ภาพรังสีที่ได้จะไม่ชัด หรือ การใช้แผ่นทองแดงกัน⁶ ก็อาจไปทำให้ส่วนอื่น ๆ นอกเหนือจากบริเวณข้อต่อขากรรไกรไม่ชัดได้ และที่สำคัญที่สุดคือวิธีที่ใช้แผ่นโลหะกันนี้ ทำให้ผู้ป่วยได้รับรังสีเพิ่มมากขึ้นโดยไม่จำเป็น และทำให้เทคนิคการถ่ายภาพรังสียุ่งยากขึ้นด้วย การใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีนแบบที่มีความไวสองระดับนั้น^{24,25,26,27} พบว่าสามารถทำให้มองเห็นหัวคอนคายล์ได้ชัดเจนขึ้น แต่ก็ทำให้ทันตแพทย์ต้องมีค่าใช้จ่ายเพิ่มในการใช้อินเทนซิฟายอิง สกรีนชนิดนี้มาใช้งาน ส่วนการหลีกเลี่ยงการใช้จุดสังเกตทางกายวิภาค

บนหัวคอนคายล์มาใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์แทน ไม่สามารถกระทำได้ในการวัดความยาวขากรรไกรล่าง เพื่อศึกษาเกี่ยวกับการเจริญเติบโต โดยเฉพาะการประเมินประสิทธิภาพหรือติดตามผลการรักษา ด้วยเครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชันนอลในการกระตุ้นการเจริญของขากรรไกรล่าง^{5,15,23,33} เพราะจุดอาร์ติคูลาเรย์ไม่ได้เป็นจุดที่มีอยู่จริงบนขากรรไกรล่าง แต่เป็นเพียงจุดที่เกิดขึ้นในการถ่ายภาพรังสี ซึ่งเป็นการฉายภาพให้ปรากฏเพียงสองมิติเท่านั้น จุดอาร์ติคูลาเรย์จึงเป็นจุดที่ไม่มีความจริงในการเป็นตัวแทนของขากรรไกรล่าง และเปลี่ยนแปลงได้เมื่อขากรรไกรล่างหรือฐานกะโหลกเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมซึ่งอาจเกิดได้จากการเจริญเติบโตหรือการใช้เครื่องมือจัดฟันชนิดฟิงชันนอล สำหรับการระบุจุดสูงสุดคอนคายล์จากระนาบแฟรงเฟิร์ตนั้น^{17,18} ไม่สามารถทำได้อย่างแม่นยำ เพราะค่าที่สำรวจไว้มีความผิดพลาดได้สูง ตั้งแต่ ± 1.4 มิลลิเมตร ถึง ± 1.8 มิลลิเมตร และการลากระนาบแฟรงเฟิร์ตเองก็มีโอกาสผิดพลาดได้มากถ้าไม่สามารถมองเห็นรูหนูนอกทั้งสองข้างได้อย่างชัดเจน¹⁹ ดังนั้นวิธีการถ่ายทอศภาพหัวคอนคายล์ที่คิดค้นขึ้นจากการวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นวิธีที่ช่วยให้การระบุจุดสูงสุดคอนคายล์สามารถกระทำได้โดยไม่ต้องถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเพิ่ม ผู้ป่วยไม่ต้องรับปริมาณรังสีมากขึ้นโดยไม่จำเป็น ไม่ต้องอาศัยเทคนิคการถ่ายภาพรังสีที่มีความยุ่งยากหรือต้องอาศัยอุปกรณ์เสริมพิเศษใด ๆ ไม่ต้องใช้ระนาบแฟรงเฟิร์ตช่วยในการระบุจุดสูงสุดคอนคายล์ซึ่งมีความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง และ ไม่จำเป็นต้องใช้จุดอาร์ติคูลาเรย์ซึ่งไม่ได้เป็นตัวแทนของขากรรไกรล่างมาทดแทนจุดสังเกตทางกายวิภาคบนหัวคอนคายล์

เนื่องจาก Ghafari และคณะ²³ กล่าวว่า การวัดความยาวของขากรรไกรล่างจากหัวคอนคายล์ เป็นสิ่งที่มีความจำเป็นและไม่สามารถใช้จุดบนโครงสร้างอื่นมาทดแทนได้ จึงแนะนำถึงมาตรการที่ควรใช้ในการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการเจริญของขากรรไกรล่างว่า ในการศึกษาชนิดไปข้างหน้า (prospective study) ควรมีการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างแบบอ้าปากเพิ่มขึ้นอีกหนึ่งภาพ เพื่อใช้ในการระบุตำแหน่งของหัวคอนคายล์ให้แม่นยำขึ้น ส่วนในกรณีที่เป็นการศึกษาชนิดย้อนหลัง (retrospective study) ซึ่งไม่ได้ถ่ายภาพรังสีแบบอ้าปากไว้ ควรเลือกเฉพาะรายที่มองเห็นหัวคอนคายล์ได้อย่างชัดเจนเท่านั้น ดังนั้นผลการคิดค้นวิธีการถ่ายทอศภาพหัวคอนคายล์ในการศึกษานี้จึงสามารถเอื้อประโยชน์ให้แก่การวิจัยได้มาก กล่าวคือ ในการวิจัยชนิดเก็บข้อมูลย้อนหลัง ซึ่งมักไม่ได้ถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างแบบอ้าปากไว้ เนื่องจากไม่ได้เป็นท่ามาตรฐานในการจัดผู้ปวยนั้น สามารถนำภาพรังสีที่ถึงแม้จะมองเห็นหัวคอนคายล์ไม่ชัดเจนมาใช้ได้ โดยการคำนวณหาจุดสูงสุดคอนคายล์จากสมการข้างต้น หรือในการศึกษาชนิดไปข้างหน้า ก็ไม่จำเป็นต้องถ่ายภาพรังสีเพิ่มอีก

ความคิดริเริ่มที่นำมาซึ่งการศึกษานี้มาจากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ มาจากความพยายามในการค้นหาวิถีทางที่จะสามารถระบุตำแหน่งของหัวคอนคายล์ในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกในกรณีที่มีมองเห็นไม่ชัดเจนให้

ได้จากทรัพยากรที่มีอยู่แล้ว ไม่ให้ผู้ป่วยต้องได้รับปริมาณรังสีมากเกินไป ไม่ต้องมีเทคนิคการถ่ายภาพรังสีที่ยุ่งยาก และไม่ต้องใช้อุปกรณ์พิเศษใด ๆ เสริม ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นว่าภาพรังสีพานอราไมกอาจเป็นกุญแจดอกสำคัญที่สามารถนำไปสู่การแก้ปัญหานี้ได้ เนื่องจากเป็นภาพรังสีที่มักจะถ่ายควบคู่ไปกับภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเสมอ ในทางทันตกรรมจัดฟันใช้ภาพรังสีพานอราไมกในการสำรวจอย่างกว้าง ๆ ถึงความผิดปกติในส่วนของฟัน และขากรรไกรเท่านั้น ซึ่งผู้วิจัยคิดว่าภาพรังสีพานอราไมกน่าจะให้ข้อมูลที่มากกว่านั้นได้ โดยเฉพาะความสัมพันธ์ของโครงสร้างต่าง ๆ ที่ปรากฏในภาพรังสีทั้งสอง

การหาความสัมพันธ์ของโครงสร้างในภาพรังสีทั้งสองต้องทราบปัจจัยที่มีผลต่อขนาดของภาพ ซึ่งนั่นก็คือขนาด รูปร่าง และตำแหน่งของโครงสร้างนั้นในสามมิติ ดังนั้นผู้วิจัยจึงเก็บข้อมูลในแนวคิงเป็นความสูงเริ่มจากภาพรังสีพานอราไมกเพราะสามารถมองเห็นหัวคอนดอยล์ได้ชัดเจน ข้อมูลในแนวขวางเป็นระยะระหว่างหัวคอนดอยล์ และระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างซึ่งวัดจากไบหน้าผู้ป่วยโดยตรง ส่วนข้อมูลในแนวหน้า - หลัง เก็บจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างได้แก่ ค่าระยะฟันหน้าล่างแนวคิงถึงโกนีออน และข้อมูลค่ามุมได้จากมุมโกเนียลในภาพรังสีเซฟาโลเมตริกเช่นกัน

ถึงแม้ว่าการจัดตำแหน่งผู้ป่วยจะมีความสำคัญมากที่สุดในการถ่ายภาพรังสีพานอราไมกให้มีความเที่ยงสูงและคุณภาพดี แต่จากการศึกษาที่ผ่านมา^{40,54,55,56} ได้มีการทดลองจัดตำแหน่งผู้ป่วยต่าง ๆ กัน พบว่า ค่าที่วัดในแนวคิงดังเช่น ค่าความสูงเริ่มส เป็นค่าที่มีความเที่ยงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ส่วนการวัดขนาดขากรรไกรในแนวขวางจากไบหน้าผู้ป่วยโดยตรง ได้แนวคิดมาจากการศึกษาของ Chilvarquer และคณะ⁶² ซึ่งวัดระยะระหว่างคอนดอยล์ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า เพลวิมิเตอร์ (pelvimeter) โดยคลำให้ได้ส่วนที่นูนที่สุดของคอนดอยล์ แล้วจึงใช้เครื่องมือกดที่ตำแหน่งนั้น ในการวิจัยนี้ปรับเปลี่ยนมาใช้เครื่องเพชโบว์เป็นเครื่องมือวัด เพราะเป็นเครื่องมือที่ใช้งานอยู่แล้วในคลินิกทันตกรรม ไม่ต้องแสวงหามาเป็นพิเศษ ทันตแพทย์มีความคุ้นเคยกับเครื่องมือดี และสามารถวัดได้ความละเอียด 0.5 มิลลิเมตร ซึ่งกำหนดไว้ในการวิจัยนี้ ส่วนข้อมูลในแนวหน้า - หลัง และค่ามุม ใช้การวัดจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง เพราะ สามารถวัดได้เที่ยงตรงกว่าการวัดโดยตรงจากไบหน้าผู้ป่วย

หลังจากเก็บข้อมูลตัวแปรอิสระทั้งห้าค่าแล้ว ทดลองทำแผนภาพการกระจายของแต่ละตัวแปรกับค่าระยะปรับแนวคิง พบว่ามีความสัมพันธ์กันเป็นเส้นตรง (ภาคผนวก ค) จึงเลือกใช้การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างระยะปรับแนวคิงและตัวแปรทั้งหมดออกมาเป็นสมการเส้นตรง ซึ่งก่อนการวิเคราะห์ได้ทดสอบแล้วว่าข้อมูลมีลักษณะเป็นไปตาม

เงื่อนไขทุกประการ (ภาคผนวก ง) การวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนนี้ มีข้อดีคือ ทำให้ทราบน้ำหนัก หรือความสำคัญของแต่ละตัวแปรว่ามีอิทธิพลมากน้อยเพียงใดต่อระยะปรับแวนดิ่งซึ่งเป็นตัวแปรตาม ซึ่งในที่นี้ความสูงเริ่มสมีอิทธิพลมากที่สุดต่อระยะปรับแวนดิ่ง รองลงมาคือค่ามุมโกเนียล ส่วนตัวแปรอื่น ๆ ถูกตัดออกไปจากสมการ เป็นเพราะมีความสัมพันธ์กันเองหรือที่เรียกว่ามัลติโคลิเนียริตี (multicollinearity) เมื่อใช้การวิเคราะห์ความถดถอยแบบสเตปไวส์ (stepwise) จะนำตัวแปรอิสระเข้าสมการความถดถอยครั้งละ 1 ตัว ถ้าตัวแปรอิสระที่นำเข้ามีความสัมพันธ์กับตัวแปรอิสระที่มีอยู่แล้วในสมการถดถอย จะตัดตัวแปรอิสระที่สัมพันธ์กันตัวใดตัวหนึ่งออกจากสมการ³³ อีกทั้งยังทำให้ทราบว่า ค่าความสูงเริ่มส และ ค่ามุมโกเนียลมีอิทธิพลต่อค่าระยะปรับแวนดิ่งคิดเป็นร้อยละ 67.9 ตามค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ส่วนข้อเสียของการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนคือ ต้องหาตัวแปรอิสระที่มีผลต่อตัวแปรตามให้ได้มากที่สุด มิเช่นนั้นแล้วอาจทำให้ขาดปัจจัยที่มีความสำคัญในการอธิบายตัวแปรตามไป และต้องใช้จำนวนตัวอย่างมากจึงจะได้สมการที่มีความถูกต้องแม่นยำมากเพียงพอ ดังนั้นเนื่องจากต้องมีตัวแปรอิสระมาก และ จำนวนตัวอย่างขนาดใหญ่จึงทำให้การวิจัยที่ต้องวิเคราะห์ด้วยความถดถอยเชิงซ้อนนั้นมักต้องใช้เวลาและค่าใช้จ่ายสูง อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้ใช้ตัวอย่างในการสร้างสมการความถดถอยจำนวน 100 ตัวอย่าง ซึ่งถึงแม้จะมีจำนวนค่อนข้างน้อย แต่เนื่องจากการศึกษาคิดค้นหาวิธีถ่ายทอดภาพหัวคอนดาตซ์จากภาพรังสีพานอราไมกมายังเซฟาโลเมตริกด้านข้างเป็นครั้งแรก ดังนั้นจึงยังไม่เป็นการสมควรที่จะใช้จำนวนตัวอย่างขนาดใหญ่มากนัก เนื่องจากต้องใช้ระยะเวลานานในการเก็บข้อมูล หรืออาจต้องใช้ผู้วิจัยหลายคน ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีความเห็นว่า น่าจะเป็นการดีกว่าถ้าเริ่มทดลองทำการวิจัยจากกลุ่มตัวอย่างขนาดเล็กก่อน ถ้าประสบผลสำเร็จจึงจะขยายโครงการเป็นงานวิจัยที่ใช้กลุ่มตัวอย่างขนาดใหญ่ต่อไป

หลังจากการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อนแบบสเตปไวส์แล้ว ได้ตัดตัวแปรอิสระออกจาก 5 ตัว เหลือ 2 ตัว คือความสูงเริ่มสจากภาพรังสีพานอราไมก และ ค่ามุมโกเนียลจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างเท่านั้น จึงทำให้การทำนายค่าระยะปรับแวนดิ่งสามารถทำได้ง่ายขึ้น เพราะไม่ต้องวัดขนาดขากรรไกรต่างจากใบหน้าผู้ป่วย และสามารถทำในข้อมูลแบบย้อนหลังได้ เพียงแค่มีภาพรังสีทั้งสองก็สามารถหาค่าระยะปรับแวนดิ่งได้แล้ว

สำหรับประเด็นเรื่องความผิดพลาดในการกำหนดจุดที่ใช้ในการวิจัย ผู้วิจัยได้พยายามลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นให้เหลือน้อยที่สุดโดยการลอกลายและกำหนดจุดซ้ำ การลอกลายจากภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างจะทำซ้ำสองครั้ง⁸ ส่วนการลอกลายภาพรังสีพานอราไมกจะทำซ้ำข้างละสองครั้ง รวมทั้งหมดเป็นสี่ครั้งซึ่งสามารถลดความผิดพลาดลงได้กว่าครึ่ง³⁷

ข้อจำกัดของการหาจุดสูงสุดคอนคายล์จากวิธีที่คิดค้นขึ้นนี้คือ สามารถใช้สมการความถดถอยนี้กับภาพรังสีที่ถ่ายจากเครื่องชนิดพลอนเมกา โปรสแกนเท่านั้น และ ผู้ป่วยจะต้องถ่ายภาพรังสีพานอราไมกควบคู่ไปกับการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างด้วย ภาพรังสีพานอราไมกนี้ควรจะต้องถ่ายในวันเดียวกันกับภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างในกรณีที่ผู้ป่วยยังมีการเจริญเติบโตของร่างกายอยู่ แต่สำหรับผู้ป่วยที่หมดการเจริญเติบโตแล้ว ภาพรังสีพานอราไมกกับภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้างอาจไม่ได้ถ่ายวันเดียวกันก็ได้ トラบเท่าที่ทันตแพทย์มั่นใจว่าผู้ป่วยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของตำแหน่งฟันและขากรรไกร อย่างไรก็ตามภาพรังสีพานอราไมกเป็นภาพรังสีที่มักจะถ่ายควบคู่ไปกับการถ่ายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกด้านข้าง สำหรับใช้ในการสำรวจเพื่อวินิจฉัยประเมินผลการรักษา หรือ ติดตามการเจริญเติบโตของใบหน้าร่วมไปกับพัฒนาการการขึ้นของฟัน ส่วนลักษณะการสบฟันของผู้ป่วยไม่ได้มีข้อจำกัดแต่อย่างใด ถึงแม้ว่าในการวิจัยนี้จะใช้ตัวอย่างที่มีโอเวอร์เจตตั้งแต่ 0 มิลลิเมตรขึ้นไป ซึ่งเป็นเพราะสามารถจัดตำแหน่งผู้ป่วยในการถ่ายภาพรังสีพานอราไมกให้ฟันหน้าล่างอยู่ในร่องกัดได้ง่าย แต่ในทางปฏิบัติ ผู้ป่วยที่มีโอเวอร์เจตน้อยกว่า 0 มิลลิเมตร หรือมีการสบฟันแบบฟันหน้าล่างคร่อมฟันหน้าบนทั้งหมด ถ้าจัดตำแหน่งให้ฟันหน้าล่างอยู่ในร่องกัดแล้ว ก็สามารถนำภาพรังสีมาใช้ในการถ่ายทอดภาพหัวคอนคายล์ได้เช่นกัน ระหว่างการเก็บตัวอย่างสำหรับการวิจัยนี้ พบผู้ป่วย 2 รายที่ไม่สามารถใช้ภาพรังสีพานอราไมกในการถ่ายทอดภาพหัวคอนคายล์ได้เพราะภาพของหัวคอนคายล์บางส่วนขาดหายไป ซึ่งสังเกตว่าผู้ป่วย 2 รายนี้มีขากรรไกรล่างขนาดใหญ่ และตำแหน่งของหัวคอนคายล์อยู่สูงกว่ารูหูออกมาก ภาพของหัวคอนคายล์ทั้งหมดจึงไม่ปรากฏในภาพรังสีพานอราไมก ส่วนผู้ป่วยที่มีใบหน้าด้านซ้ายและขวาไม่เท่ากัน ขากรรไกรล่างเบี้ยวไปข้างใดข้างหนึ่ง มีพยาธิสภาพของข้อต่อขากรรไกร หรือเคยได้รับการผ่าตัดขากรรไกรล่างมาก่อน อาจพบว่าหัวคอนคายล์ด้านซ้ายและขวามีขนาดไม่เท่ากัน หรือมีความสูงเรมีสไม่เท่ากัน⁴⁸ ทำให้เมื่อถ่ายภาพรังสีพานอราไมกจะพบว่าความสูงเรมีสและรูปร่างและขนาดของหัวคอนคายล์มีความแตกต่างกันมาก จึงไม่ได้นำผู้ป่วยเหล่านี้มาใช้ในการศึกษาวิจัยแต่อย่างไรก็ตาม น่าจะมีการศึกษาต่อในผู้ป่วยประเภทนี้ด้วยว่าจะสามารถใช้วิธีการถ่ายทอดภาพหัวคอนคายล์จากภาพรังสีพานอราไมกได้หรือไม่ เพราะได้มีการเฉลี่ยภาพหัวคอนคายล์ด้านซ้ายและขวาก่อนนำมาซ้อนทับแล้ว

จากการทบทวนวรรณกรรม พบว่าคนปกติจะมีขนาด รูปร่าง มุมของหัวคอนคายล์ และ ความสูงของเรมีสรวมทั้งคอนคายล์ทางด้านซ้ายและขวาแตกต่างกันได้เล็กน้อย^{47,48,50} นอกจากนี้ขณะถ่ายภาพรังสีพานอราไมก อาจมีการจัดตำแหน่งผู้ป่วยคลาดเคลื่อนไปบ้าง เช่น ขากรรไกรของผู้ป่วยอยู่ในตำแหน่งไม่สมมาตรกันเมื่อเทียบกับบริเวณความชัด ทำให้ภาพของด้านที่เคลื่อนมาทางด้านใกล้กลางมีความสูงมากขึ้น ส่วนด้านตรงข้ามมีความสูงลดลง จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการเฉลี่ยภาพหัวคอนคายล์และจุดโกนีออนด้านซ้ายและขวาในภาพรังสีพานอราไมกก่อนนำมาซ้อนทับ ซึ่ง

จะทำให้สามารถวัดความสูงเรมัสได้ไม่ต่างกับการจัดตำแหน่งผู้ป่วยให้อยู่สมมาตรกันในบริเวณความชัด⁶⁴ และสอดคล้องกับการลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริกที่จะวาดเฉลี่ยด้านซ้ายและขวา

จากการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย พบว่าผู้วิจัยสามารถวัดค่าต่าง ๆ ได้อย่างมีความน่าเชื่อถือเพียงพอ งานวิจัยนี้ได้ใช้ผู้วิจัยเพียงคนเดียวซึ่งมีข้อดีกว่าการใช้ผู้วิจัยหลายคน เพราะสามารถได้ค่าวัดที่มีความน่าเชื่อถือสูงกว่า สำหรับการถ่ายภาพรังสีนั้น มีช่างเทคนิครังสีของภาควิชารังสีวิทยาเป็นผู้ถ่าย ช่างเทคนิครังสีนี้มีจำนวน 3 คน ซึ่งผู้วิจัยจะไม่สามารถกำหนดได้ล่วงหน้าว่าใครจะเป็นผู้ถ่ายรังสี อย่างไรก็ตาม ความผิดพลาดจากการวิจัยอาจเกิดเนื่องจากการใช้ผู้ถ่ายรังสีมากกว่าหนึ่งคนซึ่งมีผลให้ความเที่ยงลดลงด้วย

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการทำการวิจัยต่อโดยใช้ตัวอย่างจำนวนมาก เพื่อให้ตัวแปรอิสระที่ถูกตัดออกมีโอกาสเข้ามาอยู่ในสมการ เนื่องจากอาจไม่เกิดปัญหามัลติโคลิเนียริตีในลักษณะเดียวกับที่เกิดในการศึกษาครั้งนี้ เมื่อมีตัวแปรอิสระในสมการมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจมีค่าเพิ่มขึ้น หรือสมการความถดถอยสามารถทำนายค่าระยะปรับแนวคิงได้แม่นยำขึ้น สำหรับตัวแปรอิสระนั้น น่าจะใช้ 5 ตัวแปรเช่นเดิมหรือมากกว่า เพื่อให้ครอบคลุมปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะปรับแนวคิงให้มากที่สุด นอกจากนี้จะใช้จำนวนตัวอย่างมากขึ้นแล้ว ควรมีการกำหนดมาตรฐานการถ่ายภาพรังสีให้รัดกุมยิ่งขึ้น โดยการใช้ผู้ถ่ายรังสีเพียงคนเดียว หรือ มิเช่นนั้นแล้วต้องมีการฝึกฝนให้สามารถถ่ายภาพรังสีได้มีความน่าเชื่อถือสูงเพียงพอทั้งหมด ในส่วนของจำนวนผู้วิจัย เมื่อเพิ่มจำนวนตัวอย่างมากขึ้นอาจต้องใช้ผู้วัดหรือถ่ายทอดภาพหัวคอนคายล์มากกว่าหนึ่งคน ซึ่งจะต้องทำการฝึกฝนและทดสอบความน่าเชื่อถือของผู้วิจัยทั้งหมดด้วยเช่นกัน

ในส่วนของ การซ้อนทับภาพหัวคอนคายล์ตั้งแต่จุดสูงสุดมายังขอบหลังเรมัสที่อยู่ต่ำกว่าจุดอาร์ติคิวลาเรย์ 1 เซนติเมตรนั้น เพื่อลดความมึนคืดให้น้อยลงที่สุด ควรกำหนดให้ผู้วิจัยลอกลายภาพรังสีเซฟาโลเมตริก และ พานอรัมิก ในเวลาต่างกัน ซึ่งจะทำให้ผู้วิจัยไม่มีการจดจำหรือพยายามวาดภาพหัวคอนคายล์ในแต่ละครั้งให้เหมือนกัน

รายการอ้างอิง

1. McNamara, J. A. A method of cephalometric evaluation. Am J Orthod 86 (December 1984): 449-469.
2. Ricketts, R. M. Progressive cephalometric paradigm 2000, pp. 20-64. Arizona: American Institute for Bioprogressive Education, 1996.
3. Ricketts, R. M. Perspective in the clinical application of cephalometrics. Angle Orthod 51 (April 1981): 115-150.
4. Pancherz, H. Treatment of class II malocclusions by jumping the bite with the herbst appliance. Am J Orthod 76 (October 1979): 423-442.
5. Chen, J. Y.; Will, L. A., and Niederman, R. Analysis of efficacy of functional appliances on mandibular growth. Am J Orthod Dentofac Orthop 122 (November 2002): 470-476.
6. Martinoni, L. Improving petrous bone reproduction in lateral cephalometric films. Am J Orthod 73 (February 1978): 161-168.
7. Sekigushi, T., and Savara, B. S. Variability of cephalometric landmarks used for face growth studies. Am J Orthod 61 (June 1972): 603-618.
8. Baumrind, S., and Frantz, R. The reliability of head film measurements 1. Landmark identification. Am J Orthod 60 (August 1971): 111-127.
9. Houston, W. J. B. The analysis of errors in orthodontic measurement. Am J Orthod 83 (May 1983): 382-390.
10. Rakosi, T.; Jonas, I., and Graber, T. M. cephalometric analysis of the lateral radiograph. In Rateitschak, K. H. and H. F. Wolf (eds.), Orthodontic diagnosis: color atlas of dental medicine, p. 180. Stuttgart: Thieme Medical Publisher, 1993.
11. Baumrind, S., and Frantz, R. C. The reliability of head film measurements 2. conventional angular and linear measures. Am J Orthod 60 (November 1971): 505-517.
12. Moore, R. N.; DuBois, L. M.; Boice, P. A., and Igel, K. A. The accuracy of measuring condylion location. Am J Orthod Dentofac Orthop 95 (April 1989): 344-347.
13. Viteporn, S., and Athanasiou, A. E. Anatomy, radiographic anatomy and cephalometric landmarks of craniofacial skeleton, soft tissue profile, dentition, pharynx and cervical vertebrae. In Athanasiou, A. E. (ed.), Orthodontic cephalometry, pp. 43-44. London: Mosby-Wolfe, 1995.

14. Rakosi, T. An atlas and manual of cephalometric radiography, pp. 34-39. Philadelphia: Lea & Febiger, 1982.
15. Stickel, A., and Pancherz, H. Can 'articulare' be used in the cephalometric analysis of mandibular length? A methodologic study. Eur J Othod 10 (1988): 362-368.
16. Forsberg, C., and Odenrick, L. Identification of the cephalometric reference point condylion on lateral head films. Angle Orthod 59 (1989): 123-130.
17. Ricketts, R. M. Variations of the temporomandibular joint as revealed by cephalometric laminagraphy. Am J Orthod 36 (December 1950): 877-898.
18. Ricketts, R. M. Laminagraphy in the diagnosis of temporomandibular joint disorders. J Am Dent Assoc 46 (June 1953): 620-648.
19. Savara, B. S., and Takeuchi, Y. Anatomical location of cephalometric landmarks on the sphenoid and temporal bones. Angle Orthod 49 (April 1979): 141-149.
20. Haynes, S. A cephalometric study of mandibular changes in modified function regulator (Frankel) treatment. Am J Orthod Dentofac Orthop 90 (October 1986): 308-320.
21. Adenwalla, S. T.;Kronman, J. H., and Attarzadeh, F. Porion and condyle as cephalometric landmarks - an error study. Am J Orthod Dentofac Orthop 94 (November 1988): 411-415.
22. Haas, D. W.;Martinez, F.;Eckert, G. J., and Diers, N. R. Measurements of mandibular length: a comparison of articulare vs condylion. Angle Orthod 71 (2001): 210-215.
23. Ghafari, J.;Jacobsson-Hunt, U.;Higgins-Barber, K.;Beideman, R. W.;Shofer, F. S., and Laster, L. L. Identification of condylar andtomy affects the evaluation of mandibular growth: guidelines for accurate reporting and research. Am J Orthod Dentofac Orthop 107 (June 1996): 645-652.
24. O'Ryan, F. S., and Croall, D. V. Enhancement of the TMJ region in lateral caphalograms. J Clin Orthod 21 (January 1987): 60-62.
25. Braun, S. Achieving improved visualization of the temporomandibular joint condyle and fossa in the sagittal cephalogram and a pilot study of their relationships in habitual occlusion. Am J Orthod Dentofac Orthop 109 (June 1996): 635-638.
26. Hickman, E. W.;Scarfe, W. C.;Farman, A. G.;Silveira, A., and Goldsmith, J. Identification of the temporomandibular joint and adjacent cephalometric landmarks using a dual sensitivity screen-cassette system. Dentomaxillofac Radiol 25 (May 1996): 274-282.

27. Wakoh, M.;Farman, A. G.;Nishikawa, K.;Kuroyanagi, K.;Scarfe, W. C., and Braun, S. A dual sensitivity screen system for TMJ image enhancement in cephalometric radiology: sensitometric evaluation. Dentomaxillofac Radiol 24 (August 1995): 191-194.
28. Bjork, A. The face in profile. Svensk Tandlarkare Tidskrift 40 (1947):30. Cited in: Seward, S. Relation of basion to articulare. Angle orthod 51 (April 1981):151-161.
29. Agronin, K. J., and Kokich, V. G. Displacement of the glenoid fossa: a cephalometric evaluation of growth during treatment. Am J Orthod Dentofac Orthop 91 (January 1987): 42-48.
30. Buschang, P. H., and Santos-Pinto, A. Condylar growth and glenoid fossa displacement during childhood and adolescence. Am J Orthod Dentofac Orthop 113 (April 1998): 437-442.
31. Wieslander, L. Intensive treatment of severe class II malocclusions with a headgear-Herbst appliance in the early mixed dentition. Am J Orthod Dentofac Orthop 86 (July 1984): 1-13.
32. Woodside, D. G.;Metaxas, A., and Altuna, G. The influence of functional appliance therapy on glenoid fossa remodeling. Am J Orthod Dentofac Orthop 92 (September 1987): 181-198.
33. Nelson, C.;Harkness, M., and Herbison, P. Mandibular changes during functional appliance treatment. Am J Orthod Dentofac Orthop 104 (August 1993): 153-161.
34. Richardson, A. An investigation into the reproducibility of some points, planes, and lines used in cephalometric analysis. Am J Orthod 52 (September 1966): 637-651.
35. Savara, B. S.;Tracy, W. E., and Miller, P. A. Analysis of errors in cephalometric measurements of three-dimensional distances on the human mandible. Arch Oral Biol 11 (1966): 209-217.
36. Sandler, P. J. Reproducibility of cephalometric measurements. Br J Orthod 15 (May 1988): 105-110.
37. Baumrind, S.;Miller, D., and Molthen, R. The reliability of head film measurements 3. tracing superimposition. Am J Orthod 70 (December 1976): 617-644.
38. Trpkova, B.;Major, P.;Prasad, N., and Nebbe, B. Cephalometric landmarks identification and reproducibility: a meta analysis. Am J Orthod Dentofac Orthop 112 (August 1997): 165-170.

39. Cheunchompoonut, V.; Ida, M.; Honda, E.; Kurabayashi, T., and Sasaki, T. Accuracy of panoramic radiography in assessing the dimension of radiolucent jaw lesions with distinct or indistinct borders. Dentomaxillofac Radiol 32 (2003): 80-86.
40. Larheim, T. A., and Svanaes, D. B. Reproducibility of rotational panoramic radiography: mandibular linear dimensions and angles. Am J Orthod Dentofac Orthop 90 (July 1986): 45-51.
41. Dahlberg, G. Statistical methods for medical and biological students, New York: Interscience Publications. 1940. Cited in: W.J.B.Houston. The analysis of errors in orthodontic measurements. Am J Orthod 83 (May 1983): 382-390.
42. Chomengo, A. G. Principles of pantomography. In Atlas of maxillofacial pantomographic interpretation, pp. 14-36. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.
43. Langland, O. E.; Langlais, R. P., and Morris, C. R. Theory of rotational panoramic radiography. In Principles and practice of panoramic radiology, pp. 37-54. Philadelphia: W.B.Saunders Company, 1982.
44. Chomengo, A. G. Picture variation due to machine and positioning. In Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, pp. 50-67. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.
45. Chomengo, A. G. Temporomandibular joint profile and frontal views. In Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, pp. 82-89. Chicago: Quintessence Publishing Co., Inc., 1985.
46. Chomengo, A. G. Structure of the TMJ as viewed on the pantomograph. J Pros Dent 48 (September 1982): 332-335.
47. Yale, S. H.; Allison, B. D., and Hauptfuehrer, J. D. An epidemiological assessment of mandibular condyle morphology. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 21 (February 1966): 169-177.
48. Habets, L. L. M. H.; Bezuur, J. N.; Naeiji, M., and Hansson, T. L. The Orthopantomogram, an aid in diagnosis of temporomandibular joint problems. II. the vertical symmetry. J Oral Rehab 15 (465-471 1988)
49. Piedra, I. The Levandoski Panoramic Analysis in the diagnosis of facial and dental asymmetries. J Clin Pediatr Dent 20 (January 1995): 15-21.
50. Lundstrom, A. Some asymmetries of the dental arches, jaws, and skull, and their etiological significance. Am J Orthod 47 (February 1961): 81-106.

51. Chomengo, A. G. Patient preparation and positioning. In Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, pp. 218-224. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.
52. Manson-Hing, L. R. Radiologic consideration in obtaining a cephalogram. In Jacobson, A. and P. W. Caufield (eds.), Introduction to radiographic cephalometry, pp. 14-31. Philadelphia: Lea & Febiger, 1985.
53. Chomengo, A. G. Machine factor. In Atlas for maxillofacial pantomographic interpretation, pp. 226-227. Chicago: Quintessence Publishing, 1985.
54. Stramotas, S.;Geenty, J. P.;Petocz, P., and Darendeliler, M. A. Accuracy of linear and angular measurements on panoramic radiographs taken at various positions in vitro. Eur J Orthod 24 (2002): 43-52.
55. Xie, Q.;Soikkonen, K.;Wolf, J.;Mattila, K.;Gong, M., and Ainamo, A. Effect of head positioning in panoramic radiography on vertical measurements: an in vitro study. Dentomaxillofac Radiol 25 (February 1996): 61-66.
56. Samawi, S. S. B., and Burke, P. H. Angular distortion in the orthopantomogram. Br J Orthod 11 (1984): 100-107.
57. Tronje, G.;Eliasson, S.;Julin, P., and Welander, U. Image distortion in rotational panoramic radiography II.vertical distances. Acta Radiol Diagn 22 (1981): 449-455.
58. Welander, U. A mathematical model of narrow beam rotation radiography. Acta Radiol Diagn 15 (1974): 305. Cited in: Tronje, G.;Eliasson, S.;Julin, P., and Welander, U. Image distortion in rotational panoramic radiography II.vertical distances. Acta Radiol Diagn 22 (1981): 454.
59. McDavid, W. D.;Tronje, G., and Welander, U. A method to maintain a constant magnification factor throughout the exposure of rotational panoramic radiographs. Dentomaxillofac Radiol 18 (November 1989): 160-168.
60. Midtgard, J.;Bjork, G., and Linder-Aronson, S. Reproducibility of cephalometric landmarks and errors of measurements of cephalometric cranial distances. Angle Orthod 44 (January 1974): 56-61.
61. Akcam, M. O.;Altiok, T., and Ozdiler, E. Panoramic radiographs: a tool for investigating skeletal pattern. Am J Orthod Dentofac Orthop 123 (February 2003): 175-181.
62. Chilvarquer, I.;Freitas, A. d.;Glass, B. J., and Chilvarquer, L. W. Intercondular dimension as a positioning factor for panoramic images of the temporomandibular region. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 64 (December 1987): 768-773.

63. กัลยา วานิชย์บัญชา. การวิเคราะห์ความถดถอยและสหสัมพันธ์เชิงซ้อน. ใน การวิเคราะห์สถิติ: สถิติสำหรับการบริหารและวิจัย, หน้า 292-354. กรุงเทพฯ: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
64. Habets, L. L. M. H.;Bezuur, J. N.;Ooij, C. P. V., and Hansson, T. L. The orthopantomogram, an aid in diagnosis of temporomandibular joint problems. I. The factor of vertical magnification. J Oral Rehab 14 (1987): 475-480.



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดสอบความน่าเชื่อถือภายในตัวผู้วิจัย ด้วยการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับผลต่างระหว่างค่าเฉลี่ยของสองประชากรแบบจับคู่ และการแสดงการแจกแจงของข้อมูลว่าเป็นปกติ ค่าวัดที่ทดสอบคือ ระยะระหว่างหัวคอนดายล์ (INTERCO) ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (INTERGO) และระยะปรับแนวคั้ง (Y)

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	INTERCO1	INTERCO2	INTERGO1	INTERGO2	Y1	Y2	
N	30	30	30	30	30	30	
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	12.6283	12.5967	10.3417	10.3117	7.383	7.433
	Std. Deviation	.60866	.65455	.47363	.48578	1.7054	1.6333
Most Extreme Differences	Absolute	.065	.059	.074	.145	.244	.229
	Positive	.065	.059	.074	.145	.125	.131
	Negative	-.050	-.059	-.064	-.139	-.244	-.229
Kolmogorov-Smirnov Z	.357	.322	.403	.796	1.339	1.253	
Asymp. Sig. (2-tailed)	1.000	1.000	.997	.550	.056	.087	

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

Paired Samples Statistics

	Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1 INTERCO1	12.6283	30	.60866	.11112
INTERCO2	12.5967	30	.65455	.11950
Pair 2 INTERGO1	10.3417	30	.47363	.08647
INTERGO2	10.3117	30	.48578	.08869
Pair 3 Y1	7.383	30	1.7054	.3114
Y2	7.433	30	1.6333	.2982

Paired Samples Test

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference				
				Lower	Upper			
Pair 1 INTERCO1 - INTERCO2	.0317	.11102	.02027	-.0098	.0731	1.562	29	.129
Pair 2 INTERGO1 - INTERGO2	.0300	.14716	.02687	-.0249	.0849	1.117	29	.273
Pair 3 Y1 - Y2	-.050	.4015	.0733	-.200	.100	-6.82	29	.501

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดสอบการแจกแจงของค่าระยะปรับแนวตั้งจากตัวอย่าง 50 คนที่นำมาทดสอบความถูกต้องของสมการ พบว่ามีการแจกแจงแบบปกติทั้งสองค่า (ค่า Y คือระยะปรับแนวตั้งที่ได้จากการถ่ายภาพหัวคอนดาขี้ ค่า Y_EQUA คือระยะปรับแนวตั้งที่ได้จากการแทนค่าในสมการถดถอย)

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

	Y	Y_EQUA
N	50	50
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	7.470
	Std. Deviation	1.2012
Most Extreme Differences	Absolute	.108
	Positive	.090
	Negative	-.108
Kolmogorov-Smirnov Z	.762	1.175
Asymp. Sig. (2-tailed)	.607	.126

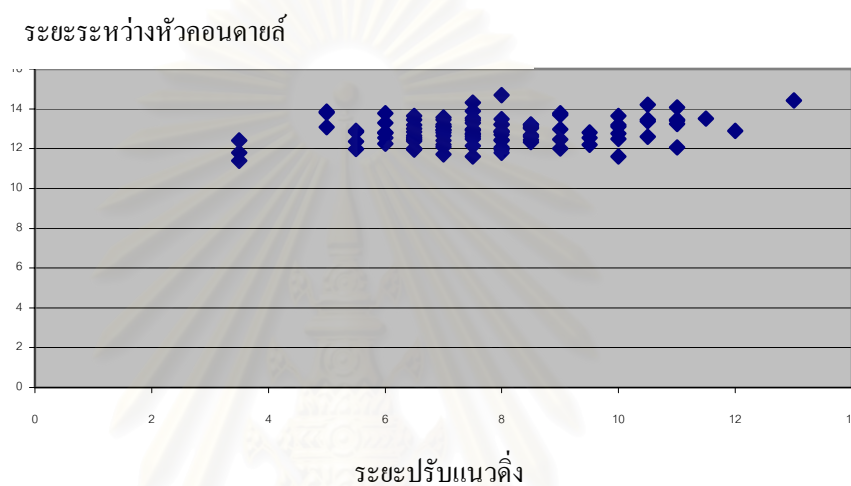
a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

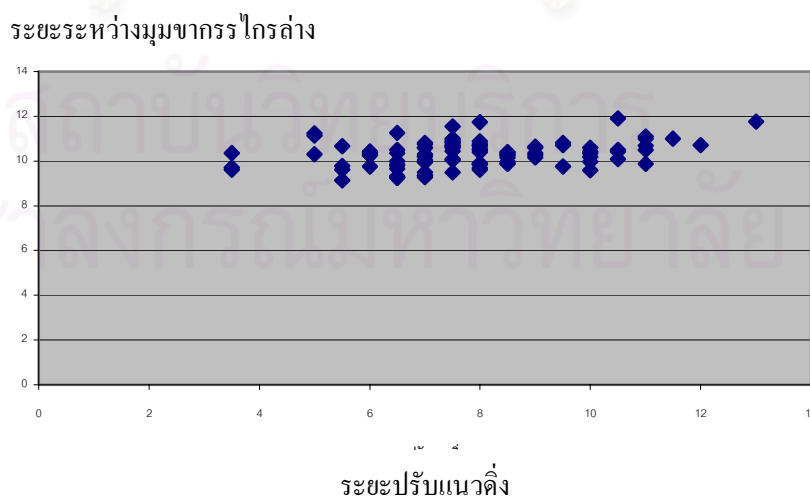
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

แผนภาพการกระจาย แสดงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรอิสระแต่ละตัวแปร กับระยะปรับแนวตั้ง และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlation coefficient) ตัวแปรอิสระประกอบด้วย 5 ตัวแปรคือ ระยะระหว่างหัวคอนดาขล์ ระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่าง ระยะพินหน้าล่างแนวตั้งถึง โคนีออน มุมโกเนียด และความสูงเรมัส เมื่อพบว่ามีความสัมพันธ์เป็นเส้นตรงแล้ว จึงเห็นสมควรศึกษาต่อด้วยการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

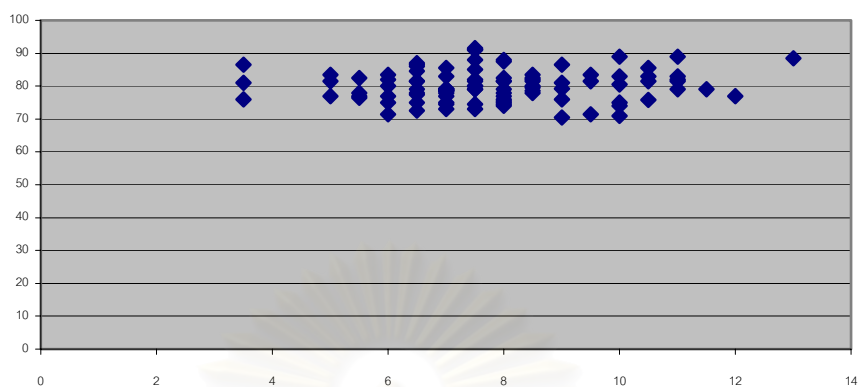


รูปที่ 35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างหัวคอนดาขล์และระยะปรับแนวตั้ง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.267



รูปที่ 36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะระหว่างมุมขากรรไกรล่างและระยะปรับแนวตั้ง มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.324

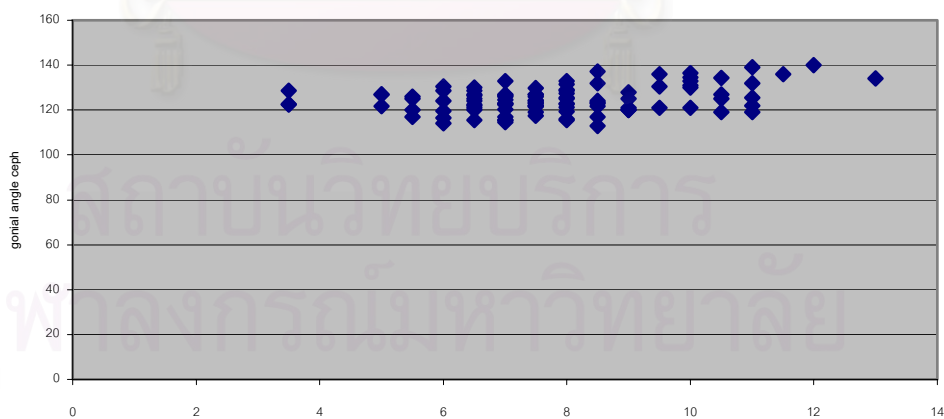
ระยะพินหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนีออน



ระยะปรับแนวตั้ง

รูปที่ 37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะพินหน้าล่างแนวตั้งถึงโกนีออนและระยะปรับแนวตั้ง
มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.079

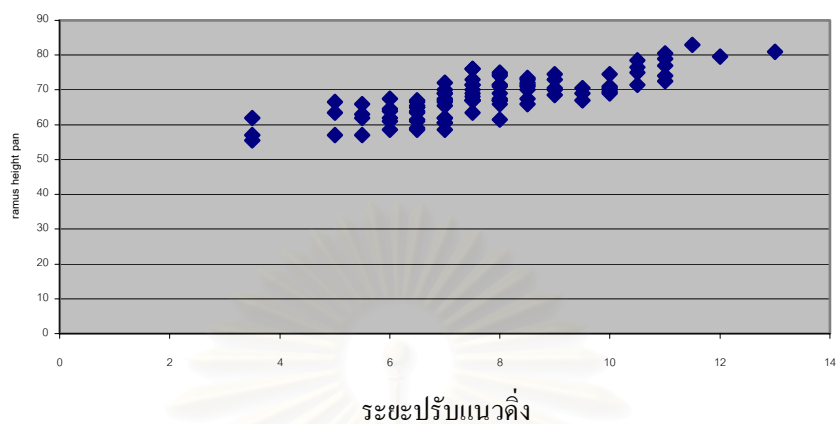
มุมโกเนียล



ระยะปรับแนวตั้ง

รูปที่ 38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างมุมโกเนียลและระยะปรับแนวตั้ง
มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.370

ความสูงเรมีส



รูปที่ 39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงเรมีสและระยะปรับแนวคิ่ง
มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.793

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

แสดงการทดสอบเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

- ค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อน (residual (e)) เป็น 0

เนื่องจาก สมการถดถอยเชิงซ้อนคือ

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5$$

การหาค่า a และ b ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุด (least-squares) จึงทำให้ผลรวมของค่าคลาดเคลื่อน และค่าเฉลี่ยของค่าคลาดเคลื่อนเป็น 0

- การแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อนเป็นแบบปกติ

สมมติฐาน H_0 : ค่าคลาดเคลื่อนมีการแจกแจงแบบปกติ

H_1 : ค่าคลาดเคลื่อน ไม่มีการแจกแจงแบบปกติ

กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

พบว่าค่าคลาดเคลื่อนแจกแจงเป็นแบบปกติ

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดสอบการแจกแจงของค่าคลาดเคลื่อน ซึ่งพบว่ามีการแจกแจงแบบปกติ

	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Unstandardized Residual	.047	100	.200*	.991	100	.761

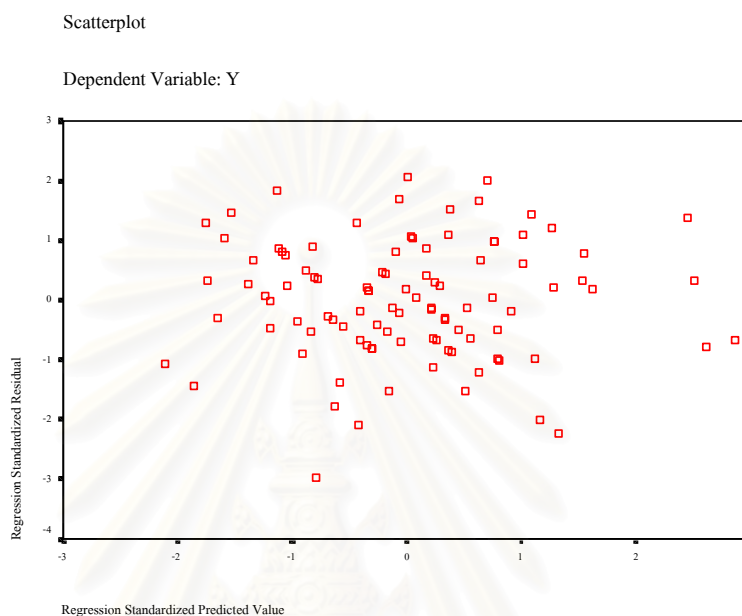
*. This is a lower bound of the true significance.

a. Lilliefors Significance Correction

- ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อน คือ σ^2 ต้องคงที่ทุกค่าของ x

เงื่อนไขข้อนี้ทดสอบโดยการทำแผนภาพการกระจายระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับ ค่าประมาณ Y พบว่าค่าความแปรปรวนมีค่าคงที่

หรือใช้การทดสอบ Breusch – Pagan test ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถใช้ในกรณีที่ตัวแปรอิสระมากกว่าหนึ่งตัว สถิติที่ใช้ทดสอบ ได้แก่ ไคสแควร์ (χ^2) โดยค่าคลาดเคลื่อนต้องมีการแจกแจงแบบปกติ ดังนั้นวิธีนี้จะเหมาะกับข้อมูลที่มีขนาดใหญ่ มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 40 แสดงแผนภาพการกระจายระหว่างค่าคลาดเคลื่อนกับค่าประมาณ Y พบว่าความแปรปรวนคงที่

- 1) วิเคราะห์สมการถดถอยเพื่อหาค่าคลาดเคลื่อน
- 2) ประมาณค่าความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนด้วยสูตร

$$\sigma^2 = \sum(e_i^2/n)$$
- 3) หาค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (standardized residuals) ยกกำลังสองด้วยสูตร

$$S_i^2 = e_i^2/\sigma^2$$
- 4) วิเคราะห์ความถดถอยในรูปสมการ

$$S_i^2 = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1i} + \alpha_2 x_{2i}$$
- 5) สรุปผลโดย RRS/2 (regression sum of square/2) นำไปเทียบกับ χ^2 จากตารางที่มี degree of freedom = k ถ้าค่า RRS/2 มีค่ามากกว่า χ^2 จากตารางจะปฏิเสธสมมติฐานว่าง (H_0)

สมมติฐาน H0: ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่ (Homoscedasticity)

H1: ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนไม่คงที่ (Heteroscedasticity)

กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ได้ค่า $RRS/2 = .148/2 = .074$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่า χ^2 จากตาราง [$\chi^2_{df=2}(0.05) = 5.99$] ดังนั้นจึงยอมรับสมมติฐานว่าง คือ ค่าแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนคงที่

ตารางที่ 10 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่า RRS/2 (regression sum of square/2)

ANOVA^b

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	.148	2	7.413E-02	.036	.965 ^a
	Residual	199.192	97	2.054		
	Total	199.341	99			

a. Predictors: (Constant), RAMUSPAN, GO_CEPH

b. Dependent Variable: S2

4. ความแปรปรวนของค่าคลาดเคลื่อนเป็นอิสระต่อกัน

ทดสอบโดยใช้สถิติเดอร์บิน - วัตสัน (Durbin-Watson)

ตารางที่ 11 แสดงค่าเดอร์บิน - วัตสัน ซึ่งอยู่ระหว่าง d_u ถึง $4-d_u$ คือ 1.69 ถึง 2.31 แสดงว่าไม่มีอโตคอร์เรเลชัน หรือค่าคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน

Model Summary^c

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate	Durbin-Watson
1	.793 ^a	.629	.625	1.12698	
2	.828 ^b	.685	.679	1.04408	2.047

a. Predictors: (Constant), RAMUSPAN

b. Predictors: (Constant), RAMUSPAN, GO_CEPH

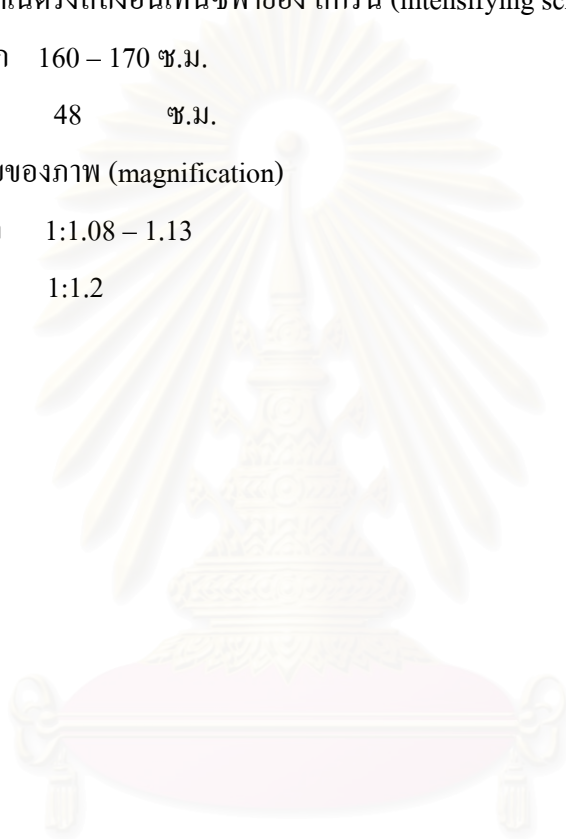
c. Dependent Variable: Y

พบว่าค่าจาก เดอร์บิน - วัตสัน ได้ 2.047 ซึ่งอยู่ระหว่าง d_u ถึง $4-d_u$ คือ 1.69 ถึง 2.31 แสดงว่าไม่มี อโตคอร์เรเลชัน หรือค่าคลาดเคลื่อนไม่มีความสัมพันธ์กัน

ภาคผนวก จ

รายละเอียดของเครื่องถ่ายภาพรังสีพลอนเมกา โปรสแกน จากคู่มือการใช้งานเครื่องถ่ายภาพรังสีพลอนเมกา โปรสแกน ค.ศ.1996

- ขนาดของภาพรังสี เซฟาโลเมตริก 15 x 30 ซม.
- พานอรามิก 12.5 x 30 ซม.
- ขนาดของจุดกำเนิดรังสี (focal spot size) 0.5 x 0.5 มม.
- ระยะจากจุดกำเนิดรังสีถึงอินเทนซิฟายอิง สกรีน (intensifying screen (SID))
- เซฟาโลเมตริก 160 – 170 ซม.
- พานอรามิก 48 ซม.
- อัตราการขยายของภาพ (magnification)
- เซฟาโลเมตริก 1:1.08 – 1.13
- พานอรามิก 1:1.2



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก จ

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	ฟันหน้าล่าง-โกนีนอน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิง(ม.ม.)
1	13.45	11.1	83	125.5	72.5	11
2	11.8	10.35	86.5	128.5	62	3.5
3	13.8	11.23	81.5	127	63.5	5
4	12.43	9.68	88	119.25	75	8
5	12.4	10.65	81.5	122.75	71	8
6	13.63	10.6	80.5	131	74.5	10
7	12.5	10.65	81.5	127	71.5	7.5
8	13.55	10.8	78.5	123	72	7
9	12.7	10.5	77	125.5	71.5	8
10	13.2	9.35	79	126	67.5	7
11	12.98	10.58	82	124	68	7.5
12	12.7	10.93	79	127	76	7.5
13	14.08	10.5	81.5	122	79	11
14	12.75	10.45	79	122	67	7.5
15	12.53	9.85	78	126.5	65.5	6.5

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง- โคนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)
16	13.78	10.43	83.5	124	67.5	6
17	14.7	11.73	87.5	133	67	8
18	12.6	10.1	83	119	76.5	10.5
19	12.38	9.25	84.5	130	64	6.5
20	12	9.25	77.5	122.5	67	6.5
21	12.55	10.8	71.5	136	67	9.5
22	13.48	10.88	82.5	115.5	74	8
23	12.65	10	75	127	59	6.5
24	12.8	10.25	82	119.5	64.5	6
25	13.43	10.85	74.5	126	67	7.5
26	12.85	10.65	76.5	125	57	5.5
27	13.2	10.15	79.5	123	66	8.5
28	12.43	9.98	78	137.25	71.5	8.5
29	12.6	10.7	85	123	63.5	7.5
30	12.48	9.58	74	136.5	71	10

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)
31	12.2	9.75	81.5	121	69	9.5
32	13.38	10.5	75.75	134.25	75	10.5
33	12.15	10.05	80	122	67	7.5
34	13.63	11.25	87	121	65	6.5
35	12.98	10.63	86.5	125	68.5	9
36	13.03	10.4	82	124	73.5	8.5
37	13.3	10.8	88	119	71.5	7.5
38	12.93	10.08	80	129.75	69	7.5
39	12.75	10.43	75	130	69	10
40	13.3	10.4	75	114	64	6
41	14.3	11.55	91.5	123.5	76	7.5
42	13.88	11	91	117.5	73	7.5
43	13.2	10.4	81.5	129	69	8
44	11.98	9.6	77	120	66	5.5
45	13.5	11	79	136	83	11.5

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)
46	12.65	9.5	77	117	69	7
47	13.25	11	89	119	77	11
48	13.85	11.13	77	121.75	66.5	5
49	13.1	10.05	78.5	133	60.5	7
50	11.6	10.35	71	134.5	70	10
51	13.18	10.5	79	115.5	61	6.5
52	12.1	9.35	75	122.5	62	7
53	13.18	10.35	78.5	121.75	71	8.5
54	11.4	9.7	76	122.5	55.5	3.5
55	12.2	10.2	79.25	123	62	7
56	12.45	9.33	72.5	120	58.5	6.5
57	13.18	9.98	89	133	70.5	10
58	12.55	10.25	71.5	130.5	58.5	6
59	12.35	9.13	82.5	126	62	5.5
60	12	10.35	79.25	120	70	9

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง- โคนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)
61	12.4	9.6	81	122.75	57	3.5
62	12.05	9.88	79	132	74	11
63	14.43	11.75	88.5	134	81	13
64	13.2	10.75	75.5	121.25	74.5	8
65	13.08	10.3	83.5	127	57	5
66	13.45	10.43	81.5	127	71.5	10.5
67	12.78	10.33	80	128.5	61	6
68	13.53	10.65	91	121.5	67	7.5
69	11.7	9.28	73	124.5	58.5	7
70	12.33	10.28	81.5	117	70	8.5
71	11.6	9.5	73	124.25	70	7.5
72	11.95	9.9	75	127.5	66	8
73	13.1	10.18	83	121	69.5	10
74	12.85	10.68	74.5	125	67	8
75	12.9	10.55	74	131.5	67.5	8

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอย

ลำดับที่	ระหว่างคอนดายล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง- โคนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมีส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)
76	13.45	10.35	81.5	128.5	63.5	6.5
77	13.1	10.6	79	127	69	7
78	12.8	10.7	83.5	130.5	70.5	9.5
79	12.25	9.75	77	116.5	62	6
80	13.08	9.9	80	132	67.5	8.5
81	14.2	11.9	85.5	125	78.5	10.5
82	12.4	10.3	78.5	114.5	66.5	7
83	13.4	10.68	82	139	80.5	11
84	12.8	10.6	78	115.5	65.5	7
85	13	9.25	86.5	124	66.5	6.5
86	13.45	10.75	85.5	120.25	67	7
87	12.95	10.2	74.5	126.5	60.5	7
88	12.9	10.7	77	140	79.5	12
89	11.95	9.65	81.5	125	61.5	6.5
90	12.68	9.88	83.5	113	73	8.5

ตารางที่ 12 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 100 คนที่ใช้ในการวิเคราะห์ความถดถอยเชิงซ้อน

ลำดับที่	ระหว่างคอนดาคต์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมัส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวตั้ง(ม.ม.)
91	12.6	10.25	82.5	123.5	72	8.5
92	11.8	9.6	78	116	71.5	8
93	12.83	9.85	76	123	61.5	8
94	12.85	9.8	86	122	65	6.5
95	12.93	9.95	83	115.5	70	7
96	13.7	10.6	81	128	73	9
97	12.9	9.78	78	117	63	5.5
98	12.05	9.85	79	128.5	67	8
99	12.45	10.15	70.5	121	70.5	9
100	13.78	10.25	76	120	74.5	9

ภาคผนวก ข

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 50 คนที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

ลำดับที่	ระหว่างคอนคยล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกน็ออน (ม.ม.)	มุมโกน็ยล	ความสูงเรมัส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวตั้ง(ม.ม.)	ค่าปัด	คำนวณจากสมการ
1	14.4	10.5	75.75	126.25	72.5	9.5	9	8.978
2	12.48	9.65	81.5	122.5	68.5	7.5	7.5	7.7415
3	13.23	10.43	85.25	135.25	66	8	8	8.0977
4	12.98	10.45	69.5	132	64	7	7.5	7.3766
5	12.93	10.2	83	115	68.5	6.5	7	7.1805
6	12.23	10.25	77	119	64.5	6.5	6.5	6.5237
7	13.4	10.6	78	129	64	5.5	7	7.1522
8	13.03	10.2	81.5	123.75	68	7.5	7.5	7.7155
9	13.38	11.4	76.75	123.5	71.5	6.5	8.5	8.5333
10	12.95	10.33	80.75	126.5	65.5	7.5	7.5	7.3237
11	13.55	10.05	87.5	110	76.5	8.5	8.5	8.7185
12	12.7	9.55	70	126.25	59	7.5	6	5.7515
13	13.5	11.23	81.25	119.75	73	9	8.5	8.6113
14	12.53	9.65	87.5	108.5	67.5	7	6.5	6.4553
15	12.2	9.75	74.5	127	69.5	7	8.5	8.3171
16	13.6	9.73	79.75	113.5	69.5	6.5	7.5	7.3073

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 50 คนที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

ลำดับที่	ระหว่างคอนคาส์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื่นหน้าล่าง-โกนีออน (ม.ม.)	มุมโกเนียล	ความสูงเรมัส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวคิ่ง(ม.ม.)	ค่าปิด	คำนวณจากสมการ
17	12.25	9.6	76.75	126.5	61	7.5	6	6.2482
18	13.48	10.4	78.5	119.5	69	7.5	7.5	7.6366
19	13.9	10.65	89	106.25	81	9	9.5	9.5135
20	13	10.6	73	126	68	8	8	7.8838
21	12.95	10.35	80	133.25	62.5	7	7	7.1116
22	12.9	10.2	89.25	118.5	68	7.5	7.5	7.3228
23	13.08	10.1	80	124.75	71	8	8.5	8.5073
24	12.78	10.15	79.5	126.5	66.5	8.5	7.5	7.5627
25	12.9	9.85	84	123.25	73	9	9	8.8731
26	12	9.78	81	125	63	6	6.5	6.614
27	13.1	10.1	83.5	129	70	9	8.5	8.5862
28	12.55	9.8	79	116.5	60.5	7	5.5	5.3807
29	13.23	10.65	85.5	130.25	78	9	10.5	10.5917
30	12.68	10.13	81.5	133.75	65.5	8	8	7.866
31	12.88	10.4	76	120.5	67	7	7	7.2334
32	13.45	10.7	83.25	126.5	63.5	5.5	7	6.8457

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 50 คนที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

ลำดับที่	ระหว่างคอนคยล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกน็ออน (ม.ม.)	มุมโกน็เยล	ความสูงเรมัส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวตั้ง(ม.ม.)	ค่าปัด	คำนวณจากสมการ
33	13.73	10.75	80.25	126.5	70.5	9	8.5	8.5187
34	13.45	10.75	75	133.5	71.5	10	9.5	9.2813
35	12.35	9.8	78.5	126	60.5	7.5	6	6.0913
36	13.43	10.1	77.75	114.5	67	7	6.5	6.7846
37	12.55	9.55	79.75	113.5	67.5	7	7	6.8293
38	13.53	10.08	82	117.5	64	5.5	6.5	6.292
39	14.13	10.85	87	118	77.5	8	9.5	9.5559
40	13.45	9.95	84.5	114	69.5	6.5	7.5	7.3447
41	13.18	10.43	75	126	64.5	8	7.5	7.0473
42	12.85	10.85	82.25	110.5	71	7.5	7.5	7.4414
43	14.13	10.73	76	132	60.5	8	6.5	6.5401
44	12.85	10.25	78.25	118	65.5	5.5	6.5	6.6879
45	12.83	9.7	74	141.75	57	5	6.5	6.4329
46	12.55	10.3	82	124	62	5	6.5	6.3002
47	13.23	10.63	72	135.5	62.5	7	7.5	7.2799
48	13.1	10.55	79	129.5	68	8	8	8.1456

ตารางที่ 13 แสดงข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างจำนวน 50 คนที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของสมการ

ลำดับที่	ระหว่างคอนคยล์ (ซ.ม.)	ระหว่างมุมขากรรไกรล่าง (ซ.ม.)	พื้นหน้าล่าง-โกน็ออน (ม.ม.)	มุมโกน็ยล	ความสูงเรมัส (ม.ม.)	ระยะปรับแนวตั้ง(ม.ม.)	ค่าปัด	คำนวณจากสมการ
49	12.7	10.4	71.75	128	65	8.5	7.5	7.3164
50	15.53	11.05	79.5	116	73.5	9.5	8.5	8.4503

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว ดวงกมล อัครทิวรรณ เกิดวันที่ 10 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ที่จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาทันตแพทยศาสตรบัณฑิต เกียรตินิยมอันดับ 1 จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และในปีเดียวกันได้รับทุน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ถวัลย์รัตน์ โหละสุต หลังจากนั้นในปีการศึกษา 2544 ได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาทันตกรรมจัดฟัน ที่ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย มีผลงานทางวิชาการเป็นบทความปริทัศน์ เรื่องการประเมินภาวะการเจริญรวดเร็วสู่วัยเริ่มเจริญพันธุ์ด้วยภาพรังสี ตีพิมพ์ในวารสารทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีที่ 26 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม พ.ศ. 2546



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย