



เวชบัณฑิตศิริราช

เวชบัณฑิตศิริราช

SIRIRAJ MEDICAL BULLETIN ปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เดือนเมษายน - มิถุนายน พ.ศ.2567



การแพทย์แผนไทยประยุกต์ศิริราช
Siriraj Applied Thai Traditional Medicine





เวชบันทึทศรราช

จัดพิมพ์โดยอนุมัติของคณะกรรมการคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

เวชบันทึทศรราช

เป็นวารสารที่ลงตีพิมพ์ผลงานวิจัยและวิชาการทางการแพทย์และการสาธารณสุขในวงกว้าง ไม่ว่าจะเป็นวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐาน การแพทย์ประยุกต์ การแพทย์แผนปัจจุบัน การแพทย์แผนไทย การแพทย์ทางเลือก จริยธรรมการวิจัยในคนและสัตว์ทดลอง แพทยศาสตร์ศึกษาทั้งระดับก่อนและหลังปริญญา ตลอดจนการบริหารจัดการองค์การที่เกี่ยวกับการแพทย์ และการสาธารณสุขในสาขาต่างๆ เป็นวารสารราย 4 เดือน โดยเนื้อหาจะประกอบด้วยผลงานวิจัย บทความทั่วไป แนวทางการดูแลผู้ป่วย และบทความประเภทอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง บทความต่าง ๆ ที่ตีพิมพ์จะผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิจากต่างสถาบันด้วยความโปร่งใส (double-blinded)

เวชบันทึทศรราช

ผ่านการประเมินคุณภาพวารสารวิชาการกลุ่มที่ 2 ในฐานข้อมูล TCI

วัตถุประสงค์

เพื่อสนับสนุนการเผยแพร่ผลงานวิจัย บทความวิชาการ ด้านการแพทย์ และสาธารณสุขในวงกว้าง

กำหนดตีพิมพ์

ปีละ 4 เล่ม ในเดือนมกราคม - มีนาคม, เมษายน - มิถุนายน, กรกฎาคม - กันยายน และตุลาคม - ธันวาคม

ระบบการจัดการวารสารออนไลน์

เวชบันทึทศรราช ได้ใช้ระบบการจัดการวารสารออนไลน์ Thai Journals Online (ThaiJO)

ThaiJO ได้รับการติดตั้ง และดูแลโดยศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai-Citation Index Centre, TCI) จาก การสนับสนุนของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เพื่อพัฒนาคุณภาพวารสารไทยในฐานข้อมูล TCI ให้มีมาตรฐานสากล

ขอเชิญชวนผู้สนใจส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ใน “วารสารเวชบันทึทศรราช” ได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย

ผู้สนใจสามารถส่งบทความผ่านอีเมลหรือศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมที่เว็บไซต์

<https://he02.tci-thaijo.org/index.php/simedbull/index>





วารสารเวชบัณฑิตศิริราช

เพื่อสืบทอดเอกลักษณ์ไทยของสารศิริราช มุ่งสู่มาตรฐานวารสารการแพทย์ของไทย
จัดพิมพ์โดยอนุมัติของคณะกรรมการคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

รองคณบดีฝ่ายวิชาการ	บรรณาธิการบริหาร
ศาสตราจารย์ นายแพทย์ธวัชชัย อัครวิพุธ	บรรณาธิการ
ศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์วรุฒม์ โล่ห์สิริวัฒน์	รองบรรณาธิการ
รองศาสตราจารย์ นายแพทย์ประภัทร วานิชพงษ์พันธุ์	รองบรรณาธิการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงอรนิช นาวานุเคราะห์	รองบรรณาธิการ
รองศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์เชิดศักดิ์ ไอรณรัตน์	รองบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการ ภายในคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

ภาควิชาเวชศาสตร์ป้องกันและสังคม
อาจารย์ แพทย์หญิงชโลบล เฉลิมศรี

สถานการแพทย์แผนไทยประยุกต์

ผู้ช่วยอาจารย์ แพทย์แผนไทยประยุกต์ แม้นมาศ วรรณภูมิ

สถานการแพทย์แผนไทยประยุกต์

รองศาสตราจารย์ ดร. นายแพทย์ประวิทย์ อัครเสรินนท์

กองบรรณาธิการ ภายนอกคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

โรงพยาบาลราชวิถี กรุงเทพมหานคร
รองศาสตราจารย์พิเศษ นาวาอากาศตรี
นายแพทย์สุชม ศิลปอาชา

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จ.ปทุมธานี

อาจารย์ แพทย์หญิงกนกพร สรรพวิทยกุล

โรงพยาบาลบางปะกอก 1 กรุงเทพมหานคร
นายแพทย์รวี สิงห์สถิตย์สุข

กลุ่มงานออร์โธปิดิกส์ โรงพยาบาลตำรวจ กรุงเทพมหานคร
พลตำรวจเอก เอกพล ตั้งมานะสกุล

โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า กรุงเทพมหานคร
พันตรี นายแพทย์จักรพันธ์ ศุภเดช

อายุรศาสตร์มะเร็งวิทยา ราชวิทยาลัยจุฬาภรณ์
กรุงเทพมหานคร

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ แพทย์หญิงอังฉรา สุภาวเวช

โรงพยาบาลสมิติเวช ศรีราชา จ.ชลบุรี
นายแพทย์สรารัฐ ลิ่มตั้งตระกูล

มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม จ.พิษณุโลก
นางยุวดี อัครลาวัฒน์

โรงพยาบาลบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์
แพทย์หญิงวันวิ พิมพรัตน์

ศูนย์การแพทย์สมเด็จพระเทพฯ มหาวิทยาลัย
ศรีนครินทรวิโรฒ จ.นครนายก

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นายแพทย์ประสิทธิ์ อุพาพร

โรงพยาบาลบุรีรัมย์ จ.บุรีรัมย์
นายแพทย์เชาวนวิศ พิมพรัตน์

โรงพยาบาลโรคผิวหนังเขตร้อนภาคใต้ กรมการแพทย์
กระทรวงสาธารณสุข จ.ตรัง

ดร. นายแพทย์วรพล เวชชาภินันท์

โรงพยาบาลสกลนคร จ.สกลนคร
นายแพทย์นิสิต ตงศิริ

โรงพยาบาลสรรพสิทธิประสงค์ จ.อุบลราชธานี
นายแพทย์ชัยอนันต์ โสตาภักดิ์

ผู้ช่วยบรรณาธิการวารสาร

นางสาวนุชประวีภรณ์ สลิอ่อน

ผู้วาดภาพประกอบทางการแพทย์

นางสาวนุชประวีภรณ์ สลิอ่อน

พิสูจน์อักษร

นางสาวนุชประวีภรณ์ สลิอ่อน

นางอมรรัตน์ แสงแก้ว

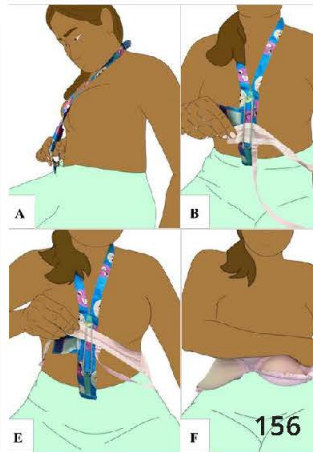
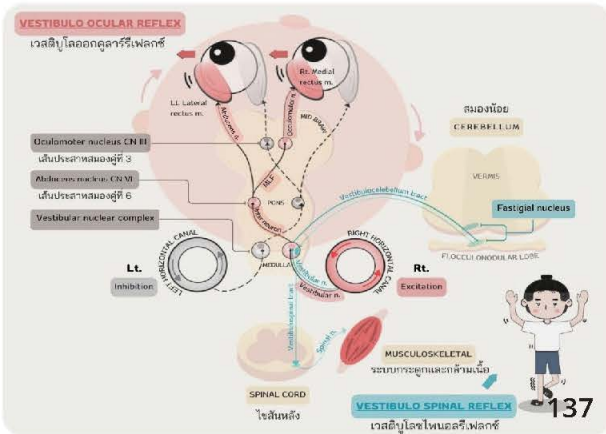
สำนักงาน

อาคารเฉลิมพระเกียรติ 80 พรรษา 5 ธันวาคม 2550 ชั้น 2 ห้อง 207 คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล
แขวงศิริราช เขตบางกอกน้อย กรุงเทพมหานคร 10700 โทรศัพท์ 0-2419-2888 Email: sijournal92@gmail.com

“บทความต่าง ๆ ที่ปรากฏในเวชบัณฑิตศิริราชเป็นผลงานจากความคิดหรืองานวิจัยของผู้เขียนและ / หรือคณะผู้เขียน
ถือเป็นความรับผิดชอบและลิขสิทธิ์ของผู้เขียนและ / หรือคณะผู้เขียนตามพระราชบัญญัติลิขสิทธิ์ พ.ศ.2537”

สารบัญ

* วารสารเวชบันทึกศิริราชปีที่ 17 ฉบับที่ 2 เดือนเมษายน - มิถุนายน พ.ศ.2567



163

นิพนธ์ต้นฉบับ

- 109 CM Model-1: ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับประเมินความหนาแน่นของ Adipose-Derived Stem Cells (Adscs) พูนสิน พวงโพธิ์โรจน์ (วท.ม.), อธิพร มณีสวัสดิ์ (วท.ม.), ศศิภา ทมิ้นศรี (วท.ม.), อุกฤษ บุญประมาณ (วท.ม.)
- 118 การประเมินคุณภาพและความพึงพอใจต่อหุ่นจำลองกระดูกสะบ้าแตกสำหรับการฝึกหัดการ Tension Band Wiring พมยุรี พวงกำหยาด, สมชาย จงพิพัฒน์ชัยพร, ดิเรก ตันติเกตุ

บทความทั่วไป

- 126 ผลของสารสกัดคอลลาเจนต่อความชราทางผิวหนัง: การทบทวนวรรณกรรม พพรศิน พงศ์ศิริสาทร, กฤติภพ เจริญชัยปิยกุล, ประวีตร อัศวานนท์
- 137 กายภาพบำบัดด้วยการออกกำลังกายคอร์ธอน คูกซี่ เพื่อลดความเสี่ยงของการพลัดตกหกล้มในผู้สูงอายุที่มีอาการเวียนศีรษะจากภาวะการทำงานบกพร่องของระบบเวสติบูลาร์ส่วนปลาย พอรนิช ตั้งนิรามัย, อ้อมเดือน ชื่นวารี, โอริม กิ่งรัตน์
- 146 แนวทางประยุกต์ใช้ ICF Model ในการรักษาทางกายภาพบำบัดสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง อ้อมเดือน ชื่นวารี, อรนิช ตั้งนิรามัย, อัมพรพร วงศ์กาด
- 156 One-Handed Bra Aid: นวัตกรรมช่วยในการสวมเสื้อชั้นในด้วยมือข้างเดียว พมธิตา วิจิตรกุล, วรินทร์ดา อ่อนคำภา, ชลธิชา โมกหลวง
- 163 กายภาพบำบัดในผู้ป่วยปวดหลังส่วนล่าง ศิวรักษ์ ขนอม, สมภรณ์ เจริญผล, ณัฐกานต์ อุบลาน
- 173 เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกสำหรับเด็กที่มีภาวะสมองพิการ ภาพร โชคพิติบุรณ์ วท.ม., วิชชุดา สิริปัญญาขณะกุล กอ.บ., กุลนิษฐ์ บุญตา กอ.บ.
- 181 การประยุกต์ใช้จิตวิทยาเชิงบวกในหลักสูตรแพทยศาสตรบัณฑิตเพื่อสร้างการเรียนรู้แบบบรรยายแบบมีปฏิสัมพันธ์ที่มีส่วนร่วมและมีความหมาย วุฒิภัทร เอี่ยมมีชัย พ.บ.

จากหน้าปก

Copyright Notice: Copyright ©N Saleeon. All rights reserved.



CM Model-1: An Artificial Intelligence for Measuring Density of Adipose-Derived Stem Cells (ADSCs)

Poonsin Pongpairoj (M.Sc.)*, Theeraporn Maneesawat (M.Sc.)*, Sasipa Muensri (M.Sc.)**,
Ugrit Boonpramarn (M.Sc.)**

*Siriraj Research Group in Immunobiology and Therapeutic Sciences, Research Department, Faculty of Medicine Siriraj Hospital, Mahidol University, Bangkok 10700, Thailand, **Department of Diagnostic and Therapeutic Radiology, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Bangkok 10400, Thailand.

Siriraj Medical Bulletin 2024;17(2):109-117

ABSTRACT

Objective: The cell culture process requires an experienced person to evaluate the cell density so that results can be accurate and precise. To reduce human errors, artificial intelligence (AI) technology is implemented for cell density estimation. This will create the standardization of the assessment and improve repeatability, and reproductivity without human concerns. This study thus aims to apply an AI system (cell density measurement model-1, CM Model-1) for percent confluence evaluation to replace human visual judgement.

Materials and Methods: The CM Model-1 was developed by using 9,642 images consisting of training data (9,042 images) and test data sets (600 images) at different % confluence (i.e., 10-29%, 30-49%, 50-69%, 70-89%, and 90-100%) of adipose-derived stem cells (ADSCs) during the serial passaging. Cell morphology and numbers were observed by using an inverted microscope at 4X (5,673 images) and 10X (3,969 images) magnification.

Results: The morphology of ADSCs was fibroblast-like cells and had a normal growth rate. Results show that the training data set from the CM Model-1 had average precision, recall, F1-score and accuracy values at 4X magnification of 98% for all values and those at 10X magnification were 100% for all values. However, the results from the test data set at 4X magnification had lower with 95% for all those and at 10X magnification were 93% for precision, 93% for recall, 92% for F1-score, and 92% for accuracy.

Conclusion: The CM Model-1 is reliable with great precision, accuracy and reproducibility. Nevertheless, CM Model-1 was performed with only fibroblast-like cells in the preliminary study; therefore, it is warranted to further explore in different cell types.

Keywords: Cell culture; cell density; artificial intelligence; % confluence; adipose-derived stem cells

Correspondence to: Ugrit Boonpramarn

Email: rbus.sk@gmail.com

Received: 30 August 2023

Revised: 6 November 2023

Accepted: 14 November 2023

<http://dx.doi.org/10.33192/smb.v17i2.265032>

CM Model-1: ระบบปัญญาประดิษฐ์สำหรับประเมินความหนาแน่นของ Adipose-Derived Stem Cells (ADSCs)

พูนสิน พวงไฟโรจน์ (วท.ม.)*, อีราพร มณีสวัสดิ์ (วท.ม.)*, ศศิภา หมั่นศรี (วท.ม.)**, อุกฤษ บัญประมาณ (วท.ม.)**

*กลุ่มวิจัยด้านชีววิทยาภูมิคุ้มกันและวิทยาศาสตร์การบำบัด ฝ่ายวิจัย คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10700 ประเทศไทย, **ภาควิชารังสีวิทยา คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์: กระบวนการเลี้ยงเซลล์จำเป็นต้องอาศัยประสบการณ์ด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์ เพื่อให้ได้ผลถูกต้องแม่นยำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งขั้นตอนการประเมินความหนาแน่นของเซลล์เพื่อพิจารณาระยะเวลาที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเซลล์รุ่นถัดไป การนำเทคโนโลยีระบบปัญญาประดิษฐ์มาช่วยประเมินความหนาแน่นของเซลล์จึงเป็นอีกวิธีที่สามารถช่วยให้มีกระบวนการประเมินความหนาแน่นของเซลล์เป็นมาตรฐานสามารถทำซ้ำได้ และได้ผลลัพธ์เหมือนกันโดยไม่ต้องขึ้นกับบุคคล การศึกษาวิจัยนี้ต้องการประยุกต์ใช้ AI ที่เรียกว่า Cell density measurement model-1 (CM Model-1) สำหรับการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ เพื่อลดความผิดพลาดในการประเมินด้วยสายตาตามมนุษย์

วิธีการศึกษา: การพัฒนา CM Model-1 ใช้ภาพถ่ายจากตัวอย่างเซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อไขมันเพื่อดูความหนาแน่นของเซลล์ Adipose-derived stem cells (ADSCs) ภายใต้กล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ ที่กำลังขยาย 4X จำนวน 5,673 ภาพ และ 10X จำนวน 3,969 ภาพ ในแต่ละช่วงร้อยละความหนาแน่น ได้แก่ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 รวมทั้งสิ้น 9,642 ภาพ โดยแบ่งภาพถ่ายเป็น 2 ชุด คือ Training Data Set (9,042 ภาพ) และ Test Data Set (600 ภาพ) เพื่อวิเคราะห์ความถูกต้องและแม่นยำของ Model ผลการศึกษา: จากการศึกษาพบว่า ADSCs มีลักษณะรูปร่างคล้าย fibroblast และมีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้นตามช่วงร้อยละความหนาแน่น 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 เป็นปกติตามลำดับ ของทั้งกำลังขยาย 4X และ 10X จากผลการพัฒนา Model จาก Training data set ที่กำลังขยาย 4X มีค่าเฉลี่ยของ Precision, Recall, F1-score และ Accuracy เท่ากับร้อยละ 98, 98, 98 และ 98 ที่กำลังขยาย 10X เท่ากับร้อยละ 100, 100, 100 และ 100 ตามลำดับ และจาก Test data set ที่กำลังขยาย 4X มีค่าเฉลี่ยของ Precision, Recall, F1-score และ Accuracy เท่ากับร้อยละ 95, 95, 95 และ 95 ที่กำลังขยาย 10X เท่ากับร้อยละ 93, 93, 92 และ 92 ตามลำดับ สรุป: แสดงให้เห็นว่า CM Model-1 มีประสิทธิภาพในการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำ อย่างไรก็ตาม CM Model-1 นี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่สามารถใช้กับเซลล์ที่มีรูปร่างคล้าย fibroblast เพียงชนิดเดียวอยู่ ยังต้องเรียนรู้เพิ่มเติมเพื่อสามารถใช้กับเซลล์ได้หลากหลายต่อไป

คำสำคัญ: เซลล์เพาะเลี้ยง; ความหนาแน่นของเซลล์; เทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์; ร้อยละความหนาแน่น; สเต็มเซลล์จากเนื้อเยื่อไขมัน

บทนำ

กระบวนการทำงานวิจัย เรื่องการศึกษาประสิทธิภาพของ ยา วัคซีน และเซลล์บำบัดสำหรับทางการแพทย์ เพื่อการรักษาหรือ เสริมความสวยความงาม จำเป็นต้องผ่านกระบวนการศึกษาวิจัย หลายขั้นตอนในเซลล์ เพื่อดูผลความปลอดภัย หรือผลข้างเคียง ก่อนที่จะนำยา วัคซีน หรือเซลล์เหล่านั้นไปใช้ในการศึกษาวิจัยใน มนุษย์ หรือสิ่งมีชีวิตต่อไปได้ (*in vivo study*) จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยประสิทธิภาพในหลอดทดลอง หรืองานเพาะเลี้ยง (*in vitro study*) ก่อนเสมอ

การเพาะเลี้ยงเซลล์ถือเป็นหนึ่งในกระบวนการเริ่มต้นที่สำคัญต่อการศึกษาวิจัยแบบ *in vitro* ที่ต้องอาศัยความชำนาญ ความรู้ความเข้าใจ และความรู้พื้นฐานด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์ รวมถึงเทคนิคเฉพาะต่าง ๆ ในกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์ เช่น กระบวนการเก็บเซลล์แบบแช่แข็ง (Cell cryopreservation) การละลายเซลล์ที่แช่แข็ง (Cell thawing) เพื่อนำมาเพาะเลี้ยงเซลล์ให้ได้ คุณภาพต่อไป และการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ (% confluence) ที่ต้องอาศัยความรู้ด้านลักษณะรูปร่างของเซลล์ (Cell morphology) เพื่อการขยายเซลล์เพาะเลี้ยง (Cell subculture) รวม

ถึงมีความรู้ ความเข้าใจ และเทคนิคต่างๆระหว่างการปฏิบัติงานต้องปลอดเชื้อ (Aseptic technique) เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการปนเปื้อนของเชื้อจุลินทรีย์ต่าง ๆ (Biological contamination) ในระหว่างที่เพาะเลี้ยงเซลล์ออกสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกห้องปฏิบัติการวิจัย¹

การเริ่มต้นเพาะเลี้ยงเซลล์โดยปกติแล้วในช่วง 12-48 ชั่วโมง หลังจากที่เริ่มลงเซลล์เพื่อเพาะเลี้ยง (Cell seeding) ในภาชนะสำหรับเลี้ยงเซลล์ (Flask) จะเรียกว่า Lag phase ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์เริ่มฟื้นฟู ภายในเซลล์เริ่มมีการสร้างเส้นใยใหม่ (Cytoskeleton) เซลล์เริ่มยึดออก และมีการสร้างเมทริกซ์ (Matrix) เพื่อยึดเกาะกับภาชนะเลี้ยงเซลล์จากนั้นจึงเริ่มกลับเข้าสู่วัฏจักรเซลล์ (Cell cycle)

ถัดมาอัตราการเจริญเติบโตของเซลล์จะเข้าสู่ช่วงที่เรียกว่า Log phase ซึ่งเป็นช่วงที่เซลล์มีการเพิ่มจำนวนมากขึ้นเป็นสองเท่าของจำนวนเซลล์ตั้งต้น (Population doubling time) โดยในช่วง Log phase นี้จะมีการเปลี่ยนอาหารเลี้ยงเซลล์ที่มีความเข้มข้นของสารอาหารที่เหมาะสม มีความเป็นสมดุลของความเป็นกรด-ด่าง ปราศจากสารพิษและปลอดเชื้อที่เรียกว่า อาหารสำหรับเลี้ยงเซลล์ครบถ้วน (Complete medium) เพื่อให้เซลล์สามารถเพิ่มจำนวนได้อย่างต่อเนื่อง

จากนั้นเมื่อเซลล์เจริญเติบโตถึงจุดหนึ่งที่เรียกว่า plateau หรือ Stationary phase คือ ช่วงที่เซลล์เริ่มแก่ (Senescence) เริ่มหยุดการเจริญเติบโต เซลล์จะเริ่มเข้าสู่กระบวนการตาย (Apoptosis) ตามวัฏจักรของเซลล์ปกติ²⁻³ ดังนั้นความหนาแน่นของเซลล์ในช่วงท้ายของ Log phase ก่อนจะเข้าสู่ช่วง Plateau phase จะค่อนข้างมาก โดยมีจำนวนเซลล์อยู่ประมาณร้อยละ 80-90 ของพื้นที่ผิวทั้งหมดภายในภาชนะเลี้ยงเซลล์ จึงเป็นช่วงที่ควรทำการขยายเซลล์เพาะเลี้ยง (Subculture) มากที่สุด ซึ่งหากเซลล์มีร้อยละความหนาแน่นมากกว่า 90 จะทำให้เซลล์ตาย หรือน้อยกว่าร้อยละ 80 เซลล์จะน้อยเกินไป อาจส่งผลให้เกิดความผิดพลาดต่อจำนวนเซลล์ที่ต้องการนำไปใช้ในกระบวนการต่อไป การประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์จึงเป็นสิ่งสำคัญในกระบวนการเพาะเลี้ยงเซลล์

ปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence, AI) มาประยุกต์ใช้ร่วมกับการทำงานด้านต่างๆเป็นอย่างมาก วงการการแพทย์ทางการแพทย์โรค เช่น โรคเบาหวาน โรคหลอดเลือดหัวใจ โรคมะเร็ง เป็นต้น หรือด้านเทคโนโลยี-วิทยาศาสตร์สุขภาพ และศึกษาพัฒนาเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อการนำมาใช้ ในปี 2019 Amisha และคณะ⁵ ได้ทำการศึกษาข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของการนำเทคโนโลยีด้านปัญญาประดิษฐ์มาใช้ทางการแพทย์ โดยพบว่าเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์สามารถเพิ่มประสิทธิภาพ ความแม่นยำ รวมถึงสามารถลดภาระงานของมนุษย์ได้ และจากรายงานการศึกษาของ Henry Joutsijoki และคณะ⁶ ได้มีการศึกษาเซลล์ต้นกำเนิดประเภท Induced pluripotent stem cells (iPSCs) ที่เพาะเลี้ยงมาแล้ว 5-7 วัน จนกระทั่งเซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มจำนวนมากขึ้น จากนั้นใช้เทคนิค *k*-nearest neighbor

(*k*-NN) classifier ของเทคโนโลยีปัญญาประดิษฐ์ช่วยจำแนกกลุ่มรูปภาพออกเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ กลุ่มที่มีลักษณะที่ตีเห็นชัดเจน กลุ่มที่ค่อนข้างตีพ้อเห็นชัดเจน และกลุ่มที่เห็นได้ไม่ต้อออกจากกัน แทนการใช้ระบบคัดเลือกโดยมนุษย์ พบว่าระบบปัญญาประดิษฐ์มีความแม่นยำในการจำแนกรูปภาพเท่ากับร้อยละ 62.4

จากหลายรายงานการศึกษาวิจัยโดยใช้เซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อไขมัน Adipose-derived mesenchymal stem cells (ADSCs) มาเพาะเลี้ยง เซลล์ที่ได้จะมีรูปร่างลักษณะ (Morphology) ยึดแผ่ขยายออก (Spindle-shaped) ซึ่งคล้ายลักษณะรูปร่างของเซลล์ประเภท Fibroblast⁷⁻¹⁴ ปัจจุบันมีรายงานการศึกษาวิจัยการนำ ADSCs ไปประยุกต์ใช้ด้านการรักษาโรคต่างๆ ทางกายภาพบำบัดอย่างกว้างขวาง เช่น การรักษาโรคข้อเข่าเสื่อม การสร้างเซลล์ไขมันให้กับผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโรคมะเร็งเต้านม เป็นต้น รวมไปถึงด้านความสวยความงาม¹⁵⁻¹⁸ การเพาะเลี้ยง ADSCs เพื่อให้ได้ปริมาณที่เพียงพอ สำหรับการเปลี่ยนลำดับรุ่น (Cell passage) เพื่อเพิ่มปริมาณเซลล์เป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อจำนวนเซลล์ที่จะได้ สำหรับการเก็บเกี่ยวเซลล์ (Harvest cells) ให้ได้ตามปริมาณที่ต้องการ วิธีการสังเกตปริมาณจำนวนของเซลล์ที่เพิ่มขึ้นให้อยู่ในช่วงของ Log phase ที่มีความหนาแน่นประมาณร้อยละ 70-80 ของพื้นที่ในภาชนะเพาะเลี้ยงเซลล์เป็นสิ่งสำคัญมากต่อการพิจารณาให้ทำการ Subculture หรือ Harvest ซึ่งต้องใช้ความชำนาญ หรือประสบการณ์ด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์สูงมาก และเป็นมาตรฐานเดียวกันทุกครั้ง ดังนั้นคณะผู้ทำการวิจัยจึงได้สังเกตเห็นถึงประโยชน์ของการนำเทคโนโลยี AI มาใช้ในการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ โดยการสร้าง CM Model-1 เพื่อช่วยลดความผิดพลาดจากการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสายตาของผู้ปฏิบัติงานแต่ละบุคคล และใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Standardization) สำหรับกำหนดร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ เมื่อเซลล์มีการเจริญเติบโตในภาชนะเพาะเลี้ยงเท่ากับร้อยละ 80 และเข้าสู่กระบวนการ Subculture หรือ Harvest ต่อไป เพื่อให้ได้ปริมาณเซลล์ที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ต่อไป

วัตถุประสงค์

การพัฒนา CM Model-1 สำหรับช่วยประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์เพาะเลี้ยงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เพื่อช่วยลดความผิดพลาดจากการประเมินร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสายตาของผู้ปฏิบัติงาน และใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน (Standardization) สำหรับกำหนดร้อยละความหนาแน่นของเซลล์

วิธีการศึกษา

ตัวอย่าง (Samples)

เซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อไขมัน (Adipose-derived mesenchymal stem cells, ADSCs) จากมนุษย์ เพศหญิง อายุ 49 ปี, Passage 2 ที่ได้รับมาจาก American Type Culture

Collection (ATCC®) Manassas, VA 20110-2209, USA , PCS-500-011™, Lot Number : 70040251

การเก็บรวบรวมข้อมูลภาพถ่ายร้อยละความหนาแน่นของเซลล์เพื่อพัฒนา CM Model-1

ระหว่างกระบวนการเพาะเลี้ยง ADSCs จะเริ่มบันทึกภาพถ่ายตั้งแต่ความหนาแน่นของเซลล์ร้อยละ 10 เป็นต้นไป ที่กำลังขยาย 4X และ 10X ด้วยชุดกล้องถ่ายภาพดิจิทัล (ยี่ห้อ LANOPTIK, HW1200Z-O) ที่ประกอบเข้ากับกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (ยี่ห้อ Olympus, CKX41) ผ่านโปรแกรม Pixit Pro.A4 โดยกำหนดหลักเกณฑ์การคัดเลือกภาพถ่ายความหนาแน่นของเซลล์ดังนี้

เกณฑ์การรับภาพถ่ายเข้าศึกษา (Inclusion criteria) คือ ภาพถ่ายที่เห็นขอบเขตเซลล์ชัดเจน ไม่มีดี และไม่มีสว่างเกินไป

เกณฑ์การไม่รับภาพถ่ายเข้าศึกษา (Exclusion criteria) คือ ภาพถ่ายที่ไม่เห็นขอบเขตเซลล์ชัดเจนหรือมี ดี และสว่างเกินไป

การเก็บรวบรวมภาพถ่ายความหนาแน่นของเซลล์จำนวนทั้งหมด 9,642 ภาพ โดยแบ่งชุดข้อมูลภาพถ่ายร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ออกเป็นทั้งหมด 5 ช่วง ได้แก่ ช่วงร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100

สำหรับการสร้าง CM Model-1 จะแบ่งชุดข้อมูลภาพถ่ายออกเป็นทั้งหมด 2 ชุด ได้แก่

- ภาพถ่ายชุดที่ 1 จะเป็น Training data set (จำนวนทั้งหมด 9,042 ภาพ)

ใช้สำหรับการพัฒนา CM Model-1 จะทำการรวบรวมภาพถ่ายร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ตามแต่ละช่วงดังที่กล่าวมาข้างต้น ที่กำลังขยาย 4X และ 10X โดยแต่ละภาพจะถูกจัดกลุ่มให้ตรงตามช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ตามการเจริญเติบโตของเซลล์ โดยผู้ชำนาญงานด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์

- ภาพถ่ายชุดที่ 2 จะเป็น Test data set (จำนวน

ทั้งหมด 600 ภาพ)

ใช้สำหรับทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของ CM Model-1 ที่กำลังขยาย 4X และ 10X โดยแต่ละภาพจะไม่มี การจัดกลุ่มตามช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ ตามการเจริญเติบโตของเซลล์ เพื่อทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของ CM Model-1

การพัฒนาและทดสอบความแม่นยำของ CM Model-1

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของ CM Model-1 ในระหว่างกระบวนการ Training model และ Validation วัดค่า Accuracy, Precision, Recall และ F1-score โดยส่วนมากจะวัดประสิทธิภาพจากค่า Confusion matrix คือ ตารางสำหรับใช้วัดความสามารถของ Machine learning ในการแก้ปัญหาแต่ละ Classification¹⁹

คำนิยามและการคำนวณค่า Precision, Recall, Accuracy และ F1-score มีดังนี้¹⁹

Precision เป็นการวัดความแม่นยำของข้อมูล โดยพิจารณาจากค่า True Positive และ False Positive จากสมการ

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP}$$

Recall เป็นการวัดความถูกต้องของ Model โดยพิจารณาจากค่า True Positive และ False Negative จากสมการ

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN}$$

Accuracy เป็นการวัดความถูกต้องของ Model โดยพิจารณาจากค่า True Positive, True Negative, False Positive และ False Negative จากสมการ

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{(TP+TN) + (FP+FN)}$$

F1-score เป็นการนำค่าระหว่าง Precision และ Recall มาเฉลี่ยแบบ Harmonic mean สร้าง F1 ขึ้นมาเพื่อเป็น Single metric ที่ใช้วัดความสามารถของ Model โดยค่า F1-score ที่เข้าใกล้ร้อยละ 100 มากที่สุดแสดงถึงความสามารถของ Model ได้ดีที่สุด จากสมการ

$$F1-score = 2 \times \frac{precision \times recall}{(precision + recall)}$$

ตารางที่ 1 แสดงความสามารถของ Machine learning¹⁹

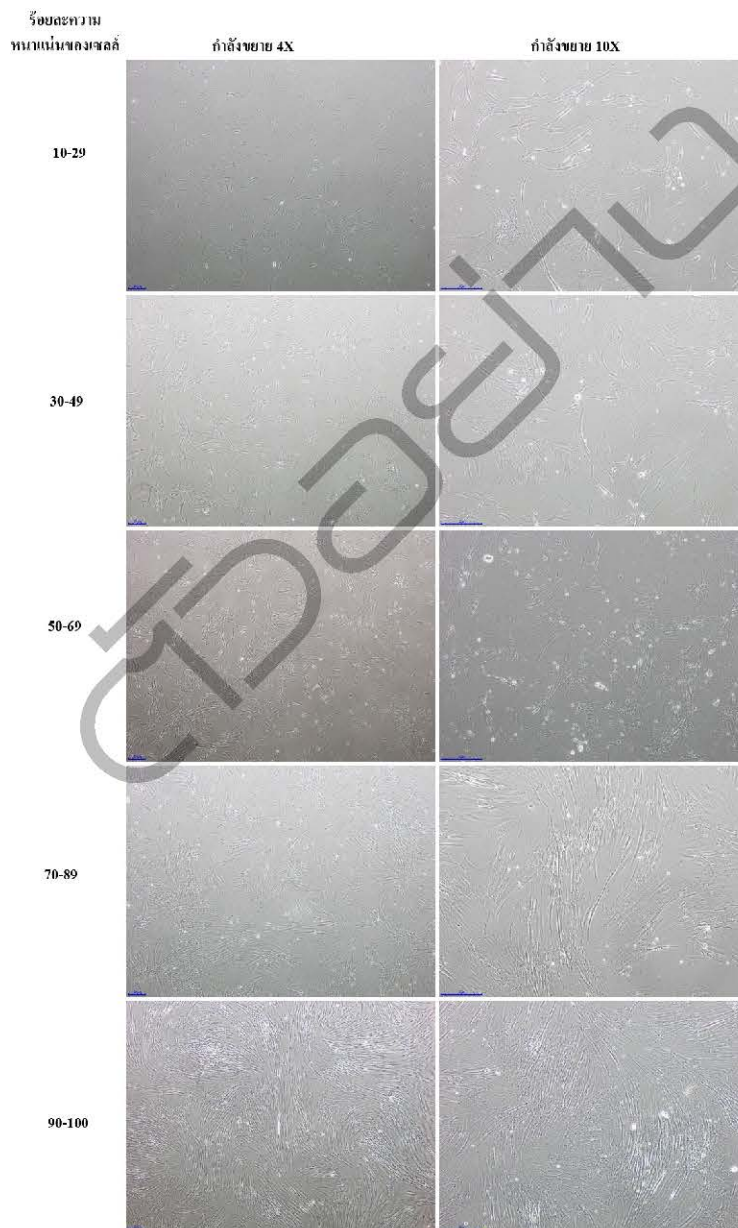
		Predicted	
		Negative	Positive
Actual	Negative	TN	FP
	Positive	FN	TP

ผลการศึกษา

จากผลภาพถ่ายร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ที่กำลังขยาย 4X และ 10X ลักษณะของ ADSCs ที่เพาะเลี้ยงมีรูปร่างขนาดประมาณ 40-50 μm และการเจริญเติบโตของ ADSCs มีร้อยละความหนาแน่นของเซลล์เพิ่มขึ้นตั้งแต่ช่วงร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 ตามลำดับ (ภาพที่ 1)

จากการเก็บรวบรวมภาพถ่ายร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ทั้งหมด 9,642 รูป โดยแบ่งเป็นภาพถ่ายของชุดข้อมูลที่ 1 Training data set ที่กำลังขยาย 4X จำนวนทั้งหมด 5,373 รูป โดย

แต่ละช่วงความหนาแน่นของเซลล์ที่ร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 มีจำนวนเท่ากับ 1,003, 1,057, 1,102, 1,106 และ 1,105 รูปตามลำดับ (มีข้อมูลของค่า Confusion matrix และค่า TN, FP, FN, TP แสดงดังตารางที่ 1 และ 2 ในเอกสาร Supplementary data) และจากผลการประเมินประสิทธิภาพของ CM Model-1 ที่ได้รับการพัฒนาในงานวิจัยนี้ที่กำลังขยาย 4X มีค่าเฉลี่ยของค่า precision เท่ากับร้อยละ 98, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 98, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 98 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 98 (ตารางที่ 2) และภาพถ่ายที่กำลังขยาย 10X จำนวนทั้งหมด 3,669



ภาพที่ 1 แสดงความหนาแน่นการเจริญเติบโตของ ADSCs ที่มีร้อยละความหนาแน่นของเซลล์เพิ่มขึ้นตามลำดับตั้งแต่ช่วงร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 (scale bar ขนาด 20 μm)

ที่มา: พูนสิน พวงไพโรจน์ กลุ่มวิจัยด้านชีววิทยาภูมิคุ้มกันและวิทยาศาสตร์การบำบัด ฝ่ายวิจัย คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล

รูป โดยแต่ละช่วงความหนาแน่นของเซลล์ที่ร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 มีจำนวนเท่ากับ 993, 591, 620, 975 และ 490 รูป ตามลำดับ และจากผลการประเมินประสิทธิภาพของ CM Model-1 ที่ได้รับการพัฒนาในงานวิจัยนี้ที่กำลังขยาย 10X มีค่าเฉลี่ยของค่า Precision เท่ากับร้อยละ 100, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 100, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 100 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 100 (ตารางที่ 3)

หลังจาก CM Model-1 ผ่านการประเมินการเรียนรู้จากชุดข้อมูลที่ 1 Training data set แล้ว CM Model-1 ได้ถูกนำมาประเมินการเรียนรู้ต่อไปโดยใช้ภาพถ่ายชุดข้อมูลที่ 2 Test data set ที่กำลังขยาย 4X จำนวนทั้งหมด 300 รูป พบว่า CM Model-1 สามารถแยกภาพถ่ายที่ร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ระหว่างช่วง

ร้อยละที่ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 ได้จำนวน 69, 49, 57, 64 และ 61 รูปตามลำดับ (มีข้อมูลของค่า Confusion matrix และค่า TN, FP, FN, TP แสดงดังตารางที่ 3 และ 4 ในเอกสาร Supplementary data) มีค่าเฉลี่ยของค่า Precision เท่ากับร้อยละ 95, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 95, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 95 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 95 (ตารางที่ 4) และภาพถ่ายที่กำลังขยาย 10X จำนวนทั้งหมด 300 รูป ร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ระหว่างช่วงร้อยละที่ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 ได้จำนวน 62, 60, 57, 62 และ 59 รูปตามลำดับ มีค่าเฉลี่ยของค่า Precision เท่ากับร้อยละ 93, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 93, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 92 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 92 (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 2 ผลประเมินค่า Precision, ค่า Recall, ค่า F1-score และค่า Accuracy ณ ช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ต่าง ๆ ของภาพถ่ายเซลล์ที่กำลังขยาย 4X สำหรับพัฒนา CM Model-1 (ชุดข้อมูลที่ 1 Training data set)

ร้อยละความหนาแน่น	จำนวนภาพถ่าย	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
10-29	1,003	98	99	98
30-49	1,057	97	98	97
50-69	1,102	99	96	98
70-89	1,106	98	97	97
90-100	1,105	97	100	98
รวมทั้งหมด	5,373	-	-	-
Average	-	98	98	98
Accuracy	-	-	-	98

ตารางที่ 3 ผลประเมินค่า Precision, ค่า Recall, ค่า F1-score และค่า Accuracy ณ ช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ต่าง ๆ ของภาพถ่ายเซลล์ที่กำลังขยาย 10X สำหรับพัฒนา CM Model-1 (ชุดข้อมูลที่ 1 Training data set)

ร้อยละความหนาแน่น	จำนวนภาพถ่าย	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
10-29	993	100	100	100
30-49	591	100	100	100
50-69	620	100	100	100
70-89	975	100	100	100
90-100	490	100	100	100

ร้อยละความหนาแน่น	จำนวนภาพถ่าย	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
รวมทั้งหมด	3,669	-	-	-
Average	-	100	100	100
Accuracy	-	-	-	100

ตารางที่ 4 ผลประเมินค่า Precision, ค่า Recall, ค่า F1-score และค่า Accuracy ณ ช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ต่าง ๆ ของภาพถ่ายเซลล์ที่กำลังขยาย 4X สำหรับทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของ CM Model-1 (ชุดข้อมูลที่ 2 Test data set)

ร้อยละความหนาแน่น	จำนวนภาพถ่าย	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
10-29	69	100	96	98
30-49	49	82	100	90
50-69	57	96	86	91
70-89	64	98	97	98
90-100	61	100	98	99
รวมทั้งหมด	300	-	-	-
Average	-	95	95	95
Accuracy	-	-	-	95

ตารางที่ 5 ผลประเมินค่า Precision, ค่า recall, ค่า F1-score และค่า Accuracy ณ ช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ต่าง ๆ ของภาพถ่ายเซลล์ที่กำลังขยาย 10X สำหรับทดสอบความถูกต้องและแม่นยำของ CM Model-1 (ชุดข้อมูลที่ 2 Test data set)

ร้อยละความหนาแน่น	จำนวนภาพถ่าย	Precision (%)	Recall (%)	F1-score (%)
10-29	62	94	95	94
30-49	60	86	90	88
50-69	57	91	86	88
70-89	62	94	95	94
90-100	59	100	97	98
รวมทั้งหมด	300	-	-	-
Average	-	93	93	92
Accuracy	-	-	-	92

สรุป

ผลการศึกษาลักษณะของเซลล์ ADSCs ในแต่ละช่วงระยะของร้อยละความหนาแน่นของเซลล์จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดหัวกลับ (ภาพที่ 1) พบว่า ที่กำลังขยาย 4X และ 10X เซลล์มีขนาดปกติ และรูปร่างของเซลล์มีลักษณะยืดแผ่ขยายออก (Spindle-shaped) หรือคล้าย Fibroblast และแต่ละช่วงระยะของร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ ได้แก่ ร้อยละ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 มีความหนาแน่นของกลุ่มเซลล์เพิ่มขึ้นตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเซลล์มีการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น จากผลการทดสอบความถูกต้องและแม่นยำสำหรับพัฒนา CM Model-1 เพื่อช่วยประเมินความหนาแน่นของ ADSCs ช่วงระหว่างร้อยละความหนาแน่นที่ 10-29, 30-49, 50-69, 70-89 และ 90-100 ที่กำลังขยาย 4X มีค่าเฉลี่ยของค่า Precision เท่ากับร้อยละ 95, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 95, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 95 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 95 และที่กำลังขยาย 10X มีค่าเฉลี่ยของค่า Precision เท่ากับร้อยละ 93, ค่า Recall เท่ากับร้อยละ 93, ค่า F1-score เท่ากับร้อยละ 92 และค่า Accuracy เท่ากับร้อยละ 92 ซึ่งเป็นค่าร้อยละที่เข้าใกล้ 100 ดังนั้น CM Model-1 ในการศึกษาที่มีความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างมาก สามารถช่วยลดความผิดพลาดของมนุษย์และสามารถช่วยประเมินความหนาแน่นของเซลล์ออกมาเป็นในทิศทางเดียวกันให้กับผู้ปฏิบัติงานด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์ได้ อย่างไรก็ตาม CM Model-1 นี้เป็นการศึกษาเบื้องต้นที่สามารถใช้กับเซลล์ชนิด ADSCs หรือเซลล์ที่มีรูปร่างคล้ายกันเท่านั้น ยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้สามารถนำไปใช้กับเซลล์ได้หลายชนิดมากขึ้นต่อไป

อภิปรายผล

จากการศึกษาลักษณะของเซลล์ ADSCs ในแต่ละช่วงร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ระยะต่าง ๆ ขนาดและรูปร่างของเซลล์มีลักษณะเป็นแบบ Spindle-shaped หรือคล้าย Fibroblast ซึ่งสอดคล้องตรงกับหลายงานวิจัยที่ได้มีการศึกษาก่อนหน้านี้⁷⁻¹⁵

การประเมินความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสายตาของผู้ปฏิบัติงานเป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากเป็นวิธีที่สะดวกรวดเร็ว ไม่มีความซับซ้อน แต่การประเมินความหนาแน่นของเซลล์ด้วยวิธีนี้อาจมีความผิดพลาดจากมนุษย์ (Human error) ที่เกิดจากความเอนเอียง (Bias) หรือความหลากหลายในการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ในแต่ละบุคคลไม่เท่ากัน การนำเทคโนโลยีเข้ามาช่วยในการประเมินความหนาแน่นของเซลล์จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ลดโอกาสการเกิด Human error ได้ จากการศึกษาวิจัยของ Gil Topman และคณะ²⁰ ได้พัฒนาวิธีการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ด้วย algorithm โดยศึกษากับเซลล์ทั้งหมด 3 ชนิดที่แตกต่างกัน (NIH3T3 fibroblasts, C2C12 myoblasts และ 3T3L1 pre-adipocytes) และถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์เป็นเวลา 5 วัน

(วันละ 2 ครั้ง) โดยความหนาแน่นของเซลล์คำนวณจากค่า Pixel ของพื้นที่ว่างระหว่างเซลล์ พบว่าเมื่อเทียบผลการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ระหว่าง Algorithm กับผู้เชี่ยวชาญทางด้านชีววิทยาให้ผลออกมาค่อนข้างสอดคล้องกัน นอกจากนี้ จากการศึกษาของ Ching-Hsiang Chiu และคณะ²¹ ที่ได้พัฒนา Algorithm สำหรับการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ โดยใช้ Cell line ของ Human normal oral fibroblasts (hOFs) ซึ่งถูกเก็บข้อมูลรูปภาพในขณะเพาะเลี้ยงเซลล์ที่ทุก 6 ชั่วโมง จนครบ 60 ชั่วโมง แล้วจึงนำภาพถ่ายเหล่านั้นมาประเมินความหนาแน่นของเซลล์ด้วย Model ที่พัฒนาขึ้นเปรียบเทียบกับร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ ที่ถูกประเมินโดยนักวิจัยที่มีประสบการณ์และความชำนาญด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์ พบว่า Algorithm ที่ได้รับการพัฒนาสามารถประเมินความหนาแน่นของเซลล์ ออกมาได้ใกล้เคียงกับนักวิจัยที่มีความชำนาญด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์ ทำให้ Model นี้เป็นเครื่องมือช่วยประเมินความหนาแน่นของเซลล์แทนนักวิจัยได้ เมื่อเปรียบเทียบกับจากการศึกษาเบื้องต้น (Preliminary study) ในครั้งนี้ได้สร้าง CM Model-1 จากภาพถ่ายความหนาแน่นของ ADSCs ที่กำลังขยาย 4X และ 10X จำนวนทั้งหมด 9,642 รูป โดยแบ่งชุดภาพถ่ายออกเป็น 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูลสำหรับการสร้าง CM Model-1 (Training data set) จำนวน 9,042 รูป และชุดข้อมูลทดสอบ CM Model-1 (Test data set) จำนวนชุดข้อมูลรวม 600 รูป มีค่า Precision, Recall, F1-score และ Accuracy ของทั้ง 2 ชุดข้อมูล เข้าใกล้ร้อยละ 100 (มากกว่าร้อยละ 90) แสดงให้เห็นว่า CM Model-1 นี้มีความถูกต้องและแม่นยำค่อนข้างสูง อย่างไรก็ตาม CM Model-1 ยังคงต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อให้ค่าของชุดข้อมูล Test data set มีความถูกต้องและแม่นยำมากขึ้น รวมถึงการนำไปใช้กับเซลล์ได้หลากหลายมากขึ้น ดังนั้น CM Model-1 ในศึกษานี้จึงเป็นแนวทางสำหรับการศึกษาและพัฒนาต่อ เพื่อนำ Model รุ่นต่อไปมาช่วยประเมินความหนาแน่นของเซลล์เพาะเลี้ยงได้อย่างถูกต้องแม่นยำ ให้กับผู้ปฏิบัติงานหรือผู้เริ่มเพาะเลี้ยงเซลล์ (Novice study) เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจเบื้องต้นในการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ ลดความผิดพลาดจากการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ด้วยสายตาของผู้ปฏิบัติงาน และใช้เป็นมาตรฐานเดียวกัน สำหรับกำหนดร้อยละความหนาแน่นของเซลล์ก่อนกระบวนการ Subculture หรือ Harvest เพื่อให้ได้ปริมาณเซลล์ที่เพียงพอต่อการนำไปใช้ต่อไป

ข้อเสนอแนะจากการวิจัย

สำหรับการศึกษาเบื้องต้นในครั้งนี้นี้ CM Model-1 ที่สร้างขึ้นเพื่อช่วยประเมินความหนาแน่นของเซลล์เพาะเลี้ยง จำเป็นต้องมีการศึกษาในผู้เชี่ยวชาญ ผู้ปฏิบัติงาน และผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานด้านการเพาะเลี้ยงเซลล์เพิ่มเติม เพื่อลดปัจจัยที่อาจเกิดจากความเอนเอียง (Bias) จากผู้เชี่ยวชาญในการประเมินความหนาแน่นของเซลล์ รวมถึงการศึกษาเพิ่มเติมกับเซลล์ที่มีลักษณะรูปร่างอื่น ๆ เพื่อ