

Achieving health through information: a review of biomedical and health informatics as a discipline, part 2—subfields of informatics and relationships with other fields

Nawanan Theera-Ampornpant

Department of Community Medicine, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, Thailand

Abstract

The biomedical informatics discipline is important to every area of biomedicine and health, since all such areas use information. However, to date, there has not been a review article that introduces the subfields of biomedical informatics and the field's relationships with other disciplines. This article reviews the literature in order to describe a number of its subfields and explain how biomedical informatics relates to other disciplines. With better understanding about its subfields, readers would be better equipped to support and advance works in certain areas in biomedical informatics in order to

produce high-quality information and information systems that would ultimately serve as a useful and important building block of the health systems.

Keywords: medical informatics, biomedical informatics, health informatics, biomedical and health informatics, bioinformatics, clinical informatics, public health informatics, computational biology, translational medicine, translational medical research.

Received 19 April 2015; Accepted 24 May 2015

Correspondence: Nawanan Theera-Ampornpant, Department of Community Medicine, Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital, Mahidol University, 270 Rama VI Road, Toong Phayathai, Ratchathewi, Bangkok, Thailand, 10400 (Tel.: +66-2201-1518; E-mail address: nawanan.the@mahidol.ac.th).

สู่สภาวะด้วยสารสนเทศ: บทความทบทวนสาขาวิชา Biomedical and Health Informatics, ตอนที่ 2—แขนงวิชาของ Informatics และความสัมพันธ์กับสาขาวิชาอื่นๆ

นวนสวณ อีระอำพรพินธุ์

ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล

บทคัดย่อ

สาขาวิชา biomedical informatics มีความสำคัญต่อทางด้านชีวการแพทย์และสุขภาพในทุกๆ ด้าน เนื่องจากงานทุกด้านจำเป็นต้องใช้ข้อมูลสารสนเทศ แต่เนื่องจากยังไม่มีบทความภาษาไทยที่แนะนำแขนงวิชาต่างๆ ของสาขาวิชานี้ รวมทั้งความเชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชานี้กับสาขาวิชาอื่นๆ ให้ผู้เกี่ยวข้องเข้าใจ บทความนี้จึงได้ทบทวนวรรณกรรมเพื่อแนะนำแขนงวิชาย่อยของสาขาวิชานี้ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสาขาวิชา biomedical informatics กับสาขาวิชาอื่น เพื่อให้ผู้สนใจมีความเข้าใจมากยิ่งขึ้นและช่วยสนับสนุนงานในแขนงวิชาต่างๆ ของสาขาวิชานี้ เพื่อให้มีข้อมูลสารสนเทศและ

ระบบสารสนเทศที่มีคุณภาพ เป็นประโยชน์ในฐานะเสาเข็มหลักเสาหนึ่งของระบบสุขภาพต่อไป

คำสำคัญ: medical informatics, biomedical informatics, health informatics, biomedical and health informatics, bioinformatics, clinical informatics, public health informatics, computational biology, translational medicine, translational medical research

วันที่ยื่น 19 เมษายน 2558; วันที่ตอบรับ 24 พฤษภาคม 2558

บทนำ

พัฒนาการของสาขาวิชา biomedical informatics (หรือ biomedical and health informatics) ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน ทำให้ตระหนักได้ว่า ข้อมูลสารสนเทศ มีประโยชน์ต่อทางด้านชีวการแพทย์และสุขภาพทุกด้าน ไม่ว่าจะเป็นการดูแลสุขภาพของผู้ป่วยและประชาชนเอง การให้บริการสุขภาพของบุคลากรทางการแพทย์ งานวิจัยทางชีวการแพทย์และสุขภาพ การศึกษาด้านสุขภาพ และการปฏิบัติงานด้านสาธารณสุข¹⁻⁴ อย่างไรก็ตาม เนื่องจากงานแต่ละด้านเหล่านี้ มีลักษณะและความต้องการเฉพาะ ทำให้เกิดแขนงวิชาต่างๆ ขึ้นในสาขาวิชา biomedical informatics มากมาย ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนแก่ผู้ที่ยังไม่คุ้นเคย แต่สนใจจะเข้ามาเรียนรู้และช่วยพัฒนางานในสาขาวิชานี้ นอกจากนั้นนักวิชาการในสาขาอื่นๆ อาจไม่เข้าใจว่าสาขาวิชา biomedical informatics มีความเชื่อมโยงกับสาขาวิชาอื่นอย่างไรบ้าง ทำให้สาขาวิชานี้เสียโอกาสในการ

พัฒนาบุคลากรในสาขาวิชา และดึงผู้เชี่ยวชาญในสาขาอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องมาร่วมกันพัฒนางานด้านการจัดการสารสนเทศและระบบสารสนเทศ เพื่อให้ระบบสุขภาพของประเทศไทยมีความเข้มแข็งมากยิ่งขึ้นและส่งผลดีต่อผู้ป่วยและประชาชน

บทความนี้เป็นบทความตอนที่ 2 จากทั้งหมด 2 ตอนต่อเนื่องจากบทความตอนที่ 1³ ซึ่งได้แนะนำภาพใหญ่ของสาขาวิชา biomedical informatics ผ่านการทบทวนวรรณกรรมเกี่ยวกับที่มา ความหมาย และตัวตนของสาขาวิชา biomedical informatics มาแล้ว บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแนะนำแขนงวิชาย่อยของสาขาวิชานี้ และอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างสาขาวิชา biomedical informatics กับสาขาวิชาอื่น ทั้งนี้เพื่อให้นักวิชาการและบุคลากรทางสุขภาพที่เกี่ยวข้องและสนใจมีความเข้าใจสาขาวิชานี้มากยิ่งขึ้น และพร้อมจะพัฒนาและผลักดันงานด้านนี้เพื่อสภาวะของผู้ป่วยและประชาชนต่อไป

แขนงวิชาของสาขาวิชา Biomedical Informatics

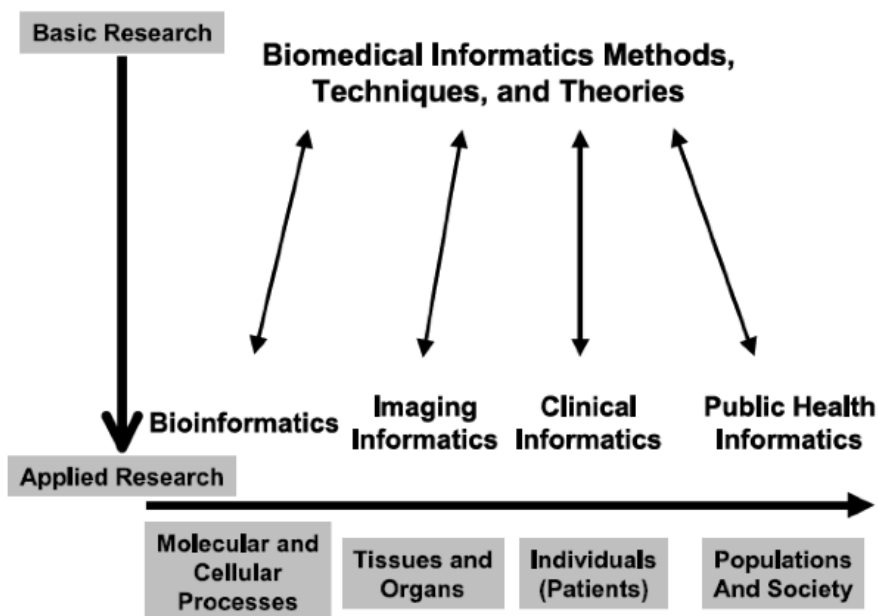
ตามที่ได้กล่าวไว้แล้วว่า องค์ความรู้และเทคนิคในสาขาวิชาเวชสารสนเทศ (medical informatics) สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้หลากหลาย domain ในทางการแพทย์และสาธารณสุข ไม่ว่าจะเป็นในเวชปฏิบัติ (medical practice)

ผู้พิมพ์ประสานงาน: นวนรณ อีระอำพรพินธุ์, ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลรามาธิบดี 270 ถนนพระรามที่ 6 แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 (โทร.: 0-2201-1518; E-mail address: nawan.the@mahidol.ac.th)

หรือบริบททางคลินิก (clinical settings), การวิจัยทางชีวการแพทย์ (biomedical research)³ นอกจากนี้ ตั้งแต่ปลายศตวรรษที่ 20 และต้นศตวรรษที่ 21 เป็นต้นมา ความสำคัญของข้อมูลสารสนเทศและเทคโนโลยีสารสนเทศต่อทางด้านต่างๆ ในทางการแพทย์และสาธารณสุข ก็เริ่มทวีความสำคัญ⁴ จึงมีชื่อเรียกแขนงย่อยของสาขาวิชานี้เพิ่มมากขึ้น เช่น สาธารณสุขสารสนเทศ (public health informatics) ซึ่งเน้นที่การประยุกต์ใช้แนวคิดด้านสารสนเทศต่อทางด้านสาธารณสุข ในขณะที่การนำเทคโนโลยีสารสนเทศมาช่วยในการวิเคราะห์และจัดการข้อมูลด้าน genomics และ proteomics ก็ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก นำมาสู่ความก้าวหน้าในแขนงวิชาที่เรียกว่า bioinformatics (ชีวสารสนเทศ) จึงมีความพยายามที่จะอธิบายความสัมพันธ์ระหว่างแขนงวิชาต่างๆ ของสาขาวิชานี้ขึ้น โดย Shortliffe ได้นำเสนอแผนภาพที่เสนอความสัมพันธ์ระหว่างแขนงวิชาต่างๆ ของสาขาวิชานี้ไว้ในการประชุมวิชาการในปี ค.ศ. 2001 (พ.ศ. 2544) ซึ่งได้มีการตีพิมพ์ในลำดับต่อมา^{4,6} (ภาพที่ 1) ซึ่งมองว่า วิธีการเทคนิค และทฤษฎีด้าน biomedical informatics นั้น เกิดขึ้นร่วมกันจากงานวิจัยพื้นฐาน (basic research) ซึ่งองค์ความรู้นี้อาจถูกนำไปใช้และทำการศึกษาวิจัยเชิงประยุกต์ (applied

research) เพิ่มเติมในหลากหลาย domain ตาม spectrum ของงานด้านชีวการแพทย์ ตั้งแต่

- ระดับโมเลกุลและเซลล์ เกิดเป็นแขนงวิชาชีวสารสนเทศ (bioinformatics) ซึ่งเน้นเรื่องการวิจัยและการจัดการข้อมูลเกี่ยวกับพันธุกรรม genome โปรตีน ชีวเคมี เภสัชวิทยา และวิทยาศาสตร์การแพทย์พื้นฐานอื่นๆ
- ระดับเนื้อเยื่อและอวัยวะ เกิดเป็นแขนงวิชาสารสนเทศด้านภาพทางการแพทย์ (imaging informatics) ซึ่งช่วยสนับสนุนงานด้านรังสีวิทยา พยาธิวิทยา และตจวิทยา เป็นต้น
- ระดับบุคคล เกิดเป็นแขนงวิชาสารสนเทศคลินิก (clinical informatics) ซึ่งเน้นงานที่เกี่ยวข้องกับ clinical settings เช่น คลินิก สถานีอนามัย/โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล (รพ.สต.) โรงพยาบาล รวมทั้งหน่วยงานอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เช่น ร้านขายยา ห้องปฏิบัติการ เป็นต้น
- ระดับประชากรและสังคม เกิดเป็นแขนงวิชาสาธารณสุขสารสนเทศ (public health informatics) ซึ่งสนใจเรื่องเกี่ยวกับระบาดวิทยา การติดตามและสอบสวนโรค การนำข้อมูลสารสนเทศมาใช้ในทางนโยบายหรือการบริหารระบบสุขภาพ เป็นต้น

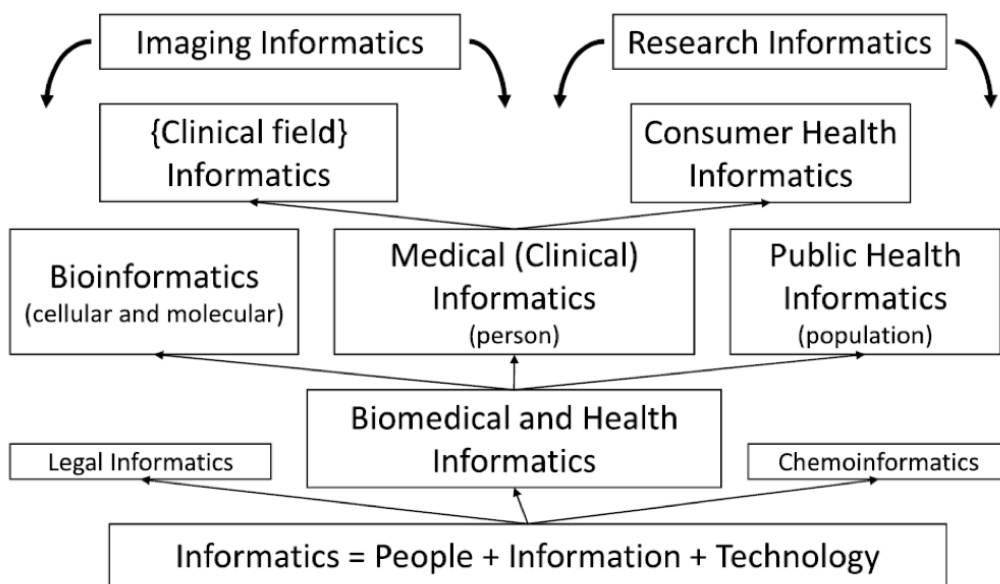


ภาพที่ 1 สาขาวิชา biomedical informatics และแขนงวิชาในการประยุกต์และนำไปใช้ ตั้งแต่ระดับโมเลกุลจนถึงระดับประชากรและสังคม (ทำซ้ำจาก Shortliffe EH. JBI status report. J Biomed Inform. 2002;35(5-6):279-80. Figure 1, The relationship between biomedical informatics methods, techniques, and theories and the domains of application that characterize the discipline; p. 279. โดยได้รับอนุญาตจาก Elsevier ภายใต้ Elsevier User License สำหรับ Non-commercial use.)

ในขณะที่เดียวกัน องค์ความรู้ที่เกิดขึ้นจาก applied research ในแขนงวิชาต่างๆ ของ biomedical informatics ก็อาจทำให้เกิดองค์ความรู้ใหม่ที่กลายเป็น “องค์ความรู้ร่วม” ที่สามารถนำไปใช้ต่อยอดสู่งานวิจัยพื้นฐานอื่นๆ หรือนำไปประยุกต์ใช้ในแขนงวิชาอื่นๆ ก็ได้ ยกตัวอย่างเช่น การนำความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับการออกแบบระบบสารสนเทศและความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้อมูลยาและมาตรฐานยา มาพัฒนาระบบสารสนเทศให้แพทย์สั่งยาผ่านระบบคอมพิวเตอร์ (computerized physician order entry หรือ CPOE) เพื่อลดข้อผิดพลาดทางยา (medication errors) และทำการวิจัยเพื่อศึกษาวิธีการออกแบบที่แพทย์พึงพอใจและลดข้อผิดพลาดได้ดีที่สุด ซึ่งถือเป็น applied research ในแขนงวิชา clinical informatics (เนื่องจากการประยุกต์ใช้และการวิจัยในบริบทของการให้บริการรักษาพยาบาลทางคลินิก) แต่อาจได้องค์ความรู้เกี่ยวกับผลที่ไม่พึงประสงค์ (unintended consequences) จากการออกแบบระบบเฉพาะด้านอย่างระบบ CPOE ที่มีปัญหาและการใช้งานที่ไม่เหมาะสม ซึ่งทำให้เกิดองค์ความรู้ที่สามารถนำไปทำการศึกษาวิจัยพื้นฐาน (basic research) ต่อเกี่ยวกับการรับรู้วิธีคิด และการตัดสินใจของมนุษย์ (cognitive and decision sciences) และ unintended consequences ของเทคโนโลยี

สารสนเทศสุขภาพ (health information technology หรือ health IT) ทั่วๆ ไป เพื่อให้ความเข้าใจที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ health IT รูปแบบต่างๆ ทำให้ได้องค์ความรู้พื้นฐาน ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการประยุกต์ใช้หรือทำ applied research ในแขนงวิชาต่างๆ ได้ในลำดับต่อไป เช่น การพัฒนาระบบสารสนเทศอื่นๆ ในงานของโรงพยาบาล (clinical informatics) หรือระบบสารสนเทศด้านสาธารณสุข (public health informatics)

จะเห็นว่า แผนภาพนี้ ช่วยให้เข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างแขนงวิชาต่างๆ ในสาขาวิชา biomedical informatics รวมทั้งการประยุกต์ใช้และต่อยอดองค์ความรู้ทั้งระดับ basic research และ applied research ได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ ข้อมูลในเว็บไซต์ของ AMIA⁷ ยังอธิบายเสริมตามภาพนี้ว่าคำว่า “สารสนเทศสุขภาพ (health informatics)” เป็นการมองแขนงวิชา clinical informatics และ public health informatics อย่างเชื่อมโยงเข้าด้วยกัน เนื่องจากด้านหนึ่งเป็นการให้บริการสุขภาพที่ระดับตัวบุคคล และอีกด้านหนึ่งที่เป็นการดูแลสาธารณสุข คือ สุขภาพของประชากรและสังคม อย่างไรก็ตาม ยังมีแขนงวิชาอื่นๆ ของสาขาวิชา biomedical informatics ที่ไม่ได้นำเสนอในภาพที่ 1 ด้วย ซึ่ง Hersh⁸ ได้นำเสนอดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 การจำแนกแขนงวิชาของสาขาวิชา biomedical and health informatics (ทำซ้ำจาก Hersh W. A stimulus to define informatics and health information technology. BMC Med Inform Decis Mak. 2009;9:24. Figure 1, Major subcategories of the informatics field; p. 2. โดยได้รับอนุญาตจากผู้เขียนภายใต้ BioMed Central License Agreement ซึ่งใช้ Creative Commons Attribution 4.0 License.)

จากภาพที่ 2 จะเห็นว่า Hersh⁸ เน้นย้ำว่า informatics เกี่ยวข้องกับทั้ง people, information และ technology ซึ่งช่วยแยกความแตกต่างระหว่าง informatics กับ information science และ computer science จากนั้นจะเห็นว่า Hersh ยกตัวอย่างว่า informatics อาจถูกนำไปใช้ได้หลากหลาย domain เช่น ด้านกฎหมาย เกิดเป็นสาขาวิชา legal informatics หรือด้านเคมี เกิดเป็นสาขาวิชา cheminformatics และด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ เกิดเป็นสาขาวิชา biomedical and health informatics ซึ่งสามารถแตกเป็นแขนงวิชาย่อยๆ ได้หลายแขนงวิชา บางแขนงวิชาสามารถแบ่งตาม spectrum ของ biomedicine ตามแนวคิดของ Shortliffe ในภาพที่ 1 ก่อนหน้านี้^{4,6} ได้ แต่บางแขนงวิชาอาจต้องมีการขยายความเพิ่มจากแผนภาพของ Shortliffe^{4,6} โดยสามารถอธิบายเพิ่มเติมได้ดังนี้

- Bioinformatics (ชีวสารสนเทศ) คือ การประยุกต์ใช้ความรู้ด้าน informatics ในด้านชีววิทยาของเซลล์และโมเลกุล (cellular and molecular biology) ซึ่งมักจะเน้นไปทางด้าน genomics นอกจากนี้ Hersh⁸ ยังกล่าวถึงแขนงย่อยของ bioinformatics ที่เรียกว่า “translational bioinformatics” (อาจเรียกเป็นไทยว่า “ชีวสารสนเทศปริวรรต”) ซึ่งเป็นกรนำความรู้ด้าน bioinformatics มาใช้เพื่อสุขภาพของมนุษย์⁹
- Imaging informatics (สารสนเทศด้านภาพทางการแพทย์) หรือบางครั้งอาจเรียกว่า structural informatics (สารสนเทศเชิงโครงสร้าง)^{5,10} คือ แขนงวิชาของ informatics ที่สนใจศึกษาเกี่ยวกับภาพ (imaging) รวมทั้งการใช้ระบบ Picture Archiving and Communication System (PACS) สำหรับเก็บและเรียกใช้ภาพต่างๆ ในการให้บริการสุขภาพแก่ผู้ป่วย⁸ ซึ่งจากภาพที่ 2 จะเห็นว่าแขนงวิชานี้มีความเชื่อมโยงกับ bioinformatics และ clinical informatics ด้วย สอดคล้องกับแนวคิดดังในภาพที่ 1 ที่มองว่า scale ของแขนงวิชานี้ เน้นระดับเนื้อเยื่อและอวัยวะ ซึ่งอยู่ระหว่าง bioinformatics ที่เน้นระดับเซลล์และโมเลกุล และ clinical informatics ที่เน้นระดับบุคคล (ผู้ป่วย)
- Clinical informatics (สารสนเทศคลินิก) หรือบางครั้งอาจเรียกว่า medical informatics ในความหมายที่ค่อนข้างแคบ คือ เน้นการให้บริการสุขภาพกับตัวบุคคล ซึ่งแขนงวิชานี้ สามารถแตกแขนงย่อยๆ ตามสาขาวิชาชีพ

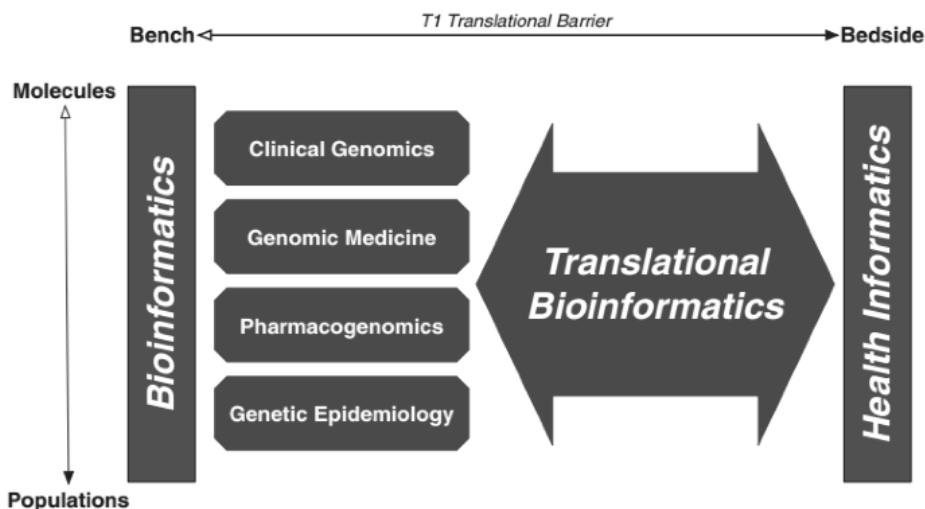
ทางสุขภาพ เช่น nursing informatics (สารสนเทศทางการพยาบาล), dental informatics (ทันตสารสนเทศ) และ pathology informatics (พยาธิสารสนเทศ) เป็นต้น⁸ เนื่องจากแต่ละสาขาวิชาชีพเหล่านี้ มีความรู้ความชำนาญเฉพาะด้าน และต้องการข้อมูลสารสนเทศและระบบสารสนเทศที่มีความจำเพาะและตอบโจทย์ของสาขาวิชาชีพของตน ทั้งนี้ นอกเหนือจากแขนงวิชาย่อยที่ Hersh⁸ ยกตัวอย่างไว้ข้างต้นแล้ว แขนงวิชา clinical informatics ยังมีแขนงวิชาย่อยอื่นๆ ที่ได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบันด้วย เช่น pharmacy informatics (เภสัชสารสนเทศ), veterinary informatics หรือ veterinary medical informatics (สารสนเทศทางสัตวแพทย์) เป็นต้น

- Public health informatics (สาธารณสุขสารสนเทศ) คือ การประยุกต์ใช้ informatics ในงานด้านสาธารณสุข (public health) เช่น การติดตามหรือเฝ้าระวังโรค (surveillance) การรายงานข้อมูล (reporting) และการสร้างเสริมสุขภาพ (health promotion) เป็นต้น
- Consumer health informatics (สารสนเทศสุขภาพของผู้บริโภค) ซึ่งอาจมองเป็นแขนงวิชาย่อยแขนงหนึ่งของ clinical informatics ได้ แต่แตกต่างจากแขนงวิชาย่อยอื่นๆ ของ clinical informatics คือ เน้นการมอง informatics จากมุมมองของผู้บริโภค (consumer)⁸ ซึ่งรวมถึงผู้ป่วย ผู้รับบริการสุขภาพ และบุคคลที่สุขภาพดี และสนใจการจัดการข้อมูลของตนเองหรือคนรอบข้าง ในขณะที่แขนงวิชาย่อยอื่นๆ ของ clinical informatics เน้นการมอง informatics จากมุมมองบุคลากรทางการแพทย์ในสาขาวิชาชีพต่างๆ ในฐานะผู้ให้บริการสุขภาพ การมีแขนงวิชาย่อย consumer health informatics จึงเป็นการรักษาสมดุล (balance) และเติมเต็มมุมมองของงานด้าน biomedical and health informatics ได้อย่างดี
- Research informatics (สารสนเทศการวิจัย) คือ การนำความรู้ด้าน informatics มาใช้เพื่อสนับสนุนงานวิจัยทางชีวการแพทย์และสุขภาพ (biomedical and health research) ซึ่งรวมถึงแขนงวิชาย่อยที่เรียกว่า clinical research informatics (สารสนเทศการวิจัยทางคลินิก) ที่ใช้ informatics เพื่องานวิจัยทางคลินิก (clinical research) เช่น การทำการทดลองทางคลินิก (clinical trials) หรือ observational studies ต่างๆ ที่เป็นการศึกษาวิจัยในคนเกี่ยวกับการแพทย์ รวมทั้งงานวิจัยที่เรียกว่า

⁸ พจนานุกรมฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. 2554 พิมพ์ครั้งที่ 2 (พ.ศ. 2556) ให้ความหมายของคำว่า “ปริวรรต” ไว้ว่า “ปริวรรต, ปริวรรต- [ประวิัด, ประวิัดตะ-] ก. หมุนเวียน เช่น ปริวรรตเงินตรา; เปลี่ยนแปลง, เปลี่ยนไป, แปรไป. (ส. ปริวรรต; ป. ปริวรรต).

translational research คือ งานวิจัยที่สนับสนุนการนำผลการวิจัยจากห้องปฏิบัติการมาสู่การรักษาผู้ป่วยจริง (“from bench to bedside”) และได้รับการนำมาใช้ในเวชปฏิบัติอย่างกว้างขวางด้วย⁸ ซึ่งกำลังได้รับความสนใจ

อย่างมากในปัจจุบัน ทั้งนี้ จากภาพที่ 2 จะเห็นว่างานด้าน research informatics เกี่ยวข้องกับแขนงวิชาอื่นๆ ด้วย เช่น clinical informatics, consumer health informatics และ public health informatics



ภาพที่ 3 ความเชื่อมโยงระหว่างความรู้ทางชีววิทยากับความรู้ทางคลินิกโดยแขนงวิชา translational bioinformatics (ทำซ้ำจาก Sarkar IN, Butte AJ, Lussier YA, Tarczy-Hornoch P, Ohno-Machado L. Translational bioinformatics: linking knowledge across biological and clinical realms. J Am Med Inform Assoc. 2011;18(4):354-7. Figure 1, Bridging biological and clinical knowledge using translational bioinformatics; p. 355. โดยได้รับอนุญาตจาก Oxford University Press ภายใต้ Creative Commons Attribution-NonCommercial 2.0 License.)

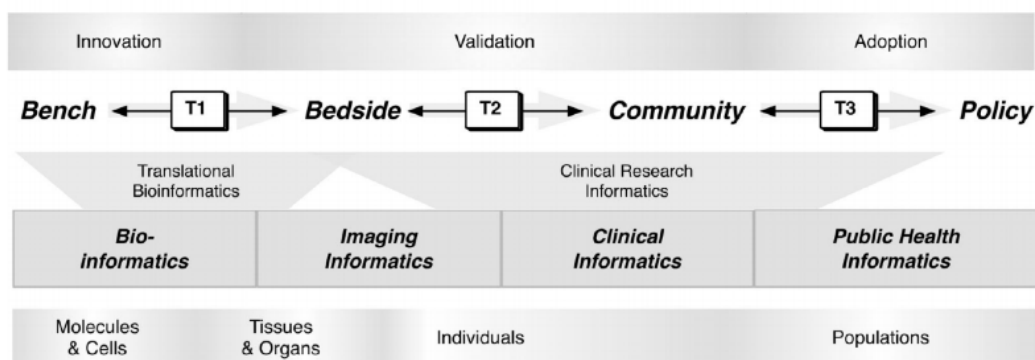
Sarkar et al.¹¹ อธิบายว่า แขนงวิชา translational bioinformatics เป็นการเชื่อมโยงระหว่างโลกทางชีววิทยา ซึ่งใช้ความรู้ในแขนงวิชา bioinformatics เป็นหลักกับโลกทางคลินิก ซึ่งใช้ความรู้ในแขนงวิชา health informatics เป็นหลัก โดย translational bioinformatics เป็นแขนงวิชาที่เชื่อม 2 แขนงวิชานี้เข้าด้วยกัน โดยมีโจทย์วิจัยที่มักเป็นที่สนใจ ได้แก่ clinical genomics, genomic medicine (หรือ personalized medicine), pharmacogenomics และ genetic epidemiology ซึ่งโจทย์เหล่านี้ ต่างก็เกี่ยวข้องกับความรู้ด้านชีววิทยา (เช่น genome) ซึ่งมีข้อมูลที่มีลักษณะเฉพาะแตกต่างจากข้อมูลทางคลินิก แต่หากนำมาเชื่อมโยงกับงานรักษาพยาบาล งานสร้างเสริมสุขภาพ หรืองานด้านสาธารณสุขแล้ว ก็อาจทำให้การดูแลสุขภาพของผู้ป่วยและประชาชนได้ผลดีขึ้น เช่น personalized medicine ซึ่งสนใจหาความสัมพันธ์ระหว่างลักษณะทางพันธุกรรม (genotype) กับลักษณะการแสดงออกทางคลินิก (phenotype) ซึ่งอาจช่วยให้การรักษาผู้ป่วยตรงจุดมากขึ้น หรือ pharmacogenomics ซึ่งเป็นการหาลักษณะทางพันธุกรรมบางอย่างที่อาจมีผล

ต่อกระบวนการทางเภสัชวิทยาในร่างกายของมนุษย์ ซึ่งอาจช่วยให้การใช้ยาการรักษาผู้ป่วย มีประสิทธิภาพดีขึ้น หรือปลอดภัยมากขึ้นได้ เป็นต้น ความรู้ด้าน translational bioinformatics จึงเป็นการบูรณาการ (integration) ข้อมูลจาก 2 ขั้วของ biomedical spectrum ที่มีลักษณะเฉพาะที่แตกต่างกัน เพื่อช่วยให้เกิดการสร้างความรู้ที่เชื่อมโยงกัน และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ “from bench to bedside” ได้มากขึ้น¹¹ (ดูภาพที่ 3) ซึ่งเมื่อวันที่ 30 มกราคม 2558 ประธานาธิบดีบารัค โอบามา ของสหรัฐอเมริกา ได้แถลงเปิดตัวโครงการ Precision Medicine ซึ่งเป็นความพยายามที่จะส่งเสริมการวิจัยและนวัตกรรมที่นำไปสู่การแพทย์ที่มีความแม่นยำสูง โดยการนำข้อมูลทางพันธุกรรมและข้อมูลทางคลินิกมาเชื่อมโยงกันเพื่อให้สามารถ “ให้การรักษาที่เหมาะสม ในเวลาที่เหมาะสม ทุกๆ ครั้ง กับผู้ป่วยทุกคน” (“[deliver] the right treatments, at the right time, every time to the right person”)¹² ซึ่งยิ่งตอกย้ำความสำคัญและโอกาสของแขนงวิชา translational bioinformatics มากยิ่งขึ้น

นอกจากนี้ Sarkar¹³ ยังได้แสดงถึงความเชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชา biomedical informatics กับ translational medicine (เวชศาสตร์ปริวรรต) ดังภาพที่ 4 โดยชี้ให้เห็นว่า นอกจากเราจะแบ่งแขนงวิชาของ biomedical informatics ตาม biomedical informatics continuum (หรือที่ Shortliffe เรียกว่า spectrum ของงานด้าน biomedicine) แล้ว หากมองในมุมมองของ translational medicine แล้ว ก็มี translational medicine continuum ที่เริ่มต้นจากงานในห้องปฏิบัติการ (bench) ซึ่งเน้นการวิจัยเพื่อสร้างนวัตกรรม (innovation) และขยายผลมาสู่การทดลองใช้ในการรักษาผู้ป่วย (bedside) ซึ่งเน้นการวิจัยเพื่อทดสอบผลทางคลินิก (clinical validation) จากนั้นจึงเป็นการขยายผลในวงกว้างในชุมชน (community) เมื่อได้รับการยอมรับ (adoption) มากยิ่งขึ้น และอาจนำไปสู่การพัฒนานโยบาย (policy) เพื่อส่งเสริมให้มีการใช้มากยิ่งขึ้น¹³ ซึ่ง Sarkar¹³ กล่าวว่า บทบาทของ translational medicine คือการอุดช่องว่างใน continuum นี้ ที่ทำให้องค์ความรู้และนวัตกรรมจาก bench ก้าวมาไม่ถึง bedside (เรียกว่า T1 translational barrier) หรือจาก bedside ไปไม่ถึง community adoption (T2 translational barrier) หรือแม้จะมีการยอมรับในชุมชนของผู้ปฏิบัติแล้ว แต่ไปไม่ถึงระดับ policy (T3 translational barrier) โดยมีแขนงวิชาของสาขาวิชา biomedical informatics 2 แขนงที่ทำหน้าที่ช่วยสาขาวิชา translational medicine เชื่อมโยงหรือแปรผล (“translate”) เพื่อให้ก้าวข้าม translational barriers

เหล่านี้ โดยแขนงวิชา translational bioinformatics เน้นการอุดช่องว่างใน T1 translational barrier ในขณะที่แขนงวิชา clinical research informatics จะช่วยอุดช่องว่างใน T2 และ T3 translational barriers เป็นหลัก โดยเขาได้ยกตัวอย่างหัวข้อด้าน biomedical informatics ที่อยู่ในความสนใจของสาขาวิชา translational medicine เช่น การสนับสนุนการตัดสินใจ (decision support), การประมวลภาษาธรรมชาติ (natural language processing), มาตรฐาน (standards), ระบบค้นคืนสารสนเทศ (information retrieval) และระบบสุขภาพอิเล็กทรอนิกส์ (electronic health records) เป็นต้น¹³ นอกจากนี้ Bernstam et al.¹⁴ ได้บรรยายถึงบทบาทและความสำคัญของสาขาวิชา biomedical informatics และสาขาวิชาอื่นๆ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ต่องานด้าน clinical and translational research และ Greenes & Shortliffe¹⁵ ได้เน้นย้ำถึงความแตกต่างระหว่างสาขาวิชา biomedical informatics กับสาขาวิชาอื่นๆ ด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ ต่องาน clinical and translational research ไว้ว่า biomedical informatics professionals ไม่ได้เน้นที่ตัวเทคโนโลยีสารสนเทศ แต่เป็นปฏิสัมพันธ์ (interactions) ระหว่างระบบสารสนเทศ คน และองค์กร เพื่อมุ่งสู่เป้าหมายบางประการ ซึ่งแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า แม้ในบริบทของการวิจัยนักวิชาการด้าน biomedical informatics ก็มีบทบาทสำคัญในฐานะผู้ที่เข้าใจความซับซ้อนของงานด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ ในมิติของมนุษย์ สังคม และองค์กร¹⁵

Translational Medicine Continuum



Biomedical Informatics Continuum

ภาพที่ 4 ความเชื่อมโยงระหว่างความรู้ทางชีววิทยากับความรู้ทางคลินิกโดยแขนงวิชา translational bioinformatics (ทำซ้ำจาก Sarkar IN. Biomedical informatics and translational medicine. J Transl Med. 2010;8:22. Figure 1, The synergistic relationship across the biomedical informatics and translational medicine continua; p. 2. โดยได้รับอนุญาตจากผู้เขียนภายใต้ Creative Commons Attribution 2.0 License.)

สำหรับแขนงวิชา clinical informatics แม้จะไม่ได้จำกัดเฉพาะงานที่เกี่ยวข้องกับวิชาชีพแพทย์แต่เพียงอย่างเดียว แต่ในปัจจุบัน ประเทศสหรัฐอเมริกาได้มีการผลักดันจน clinical informatics เป็นแขนงวิชาต่อยอดด้านแพทยศาสตร์ (medical subspecialty) สำหรับแพทย์ที่มีวุฒิบัตรอื่นในสาขาใดสาขาหนึ่งแล้ว (U.S. board-certified physicians)¹⁶⁻²¹ โดยได้มีการกำหนดเนื้อหาที่สำคัญ (core content),²² แนวทางของหลักสูตรที่เปิดสอน (program requirements for fellowship education)²³ และมีการเปิดสอบวุฒิบัตรให้กับแพทย์ที่มีคุณสมบัติตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 2013 (พ.ศ. 2556)²⁰ ถือเป็นความก้าวหน้าของแขนงวิชานี้ สำหรับวิชาชีพแพทย์ในสหรัฐอเมริกา และอาจเป็นบรรทัดฐานของพัฒนาการของแขนงวิชา clinical informatics ในวิชาชีพอื่นๆ และสำหรับวิชาชีพแพทย์ในประเทศอื่นๆ ในอนาคต

มีนักวิชาการจำนวนหนึ่งได้ตีพิมพ์บทความนำเสนอเอกลักษณ์และตัวตนของแขนงวิชาย่อย เช่น nursing informatics และความสัมพันธ์ระหว่างแขนงวิชาย่อยกับสาขาวิชาใหญ่ คือ biomedical informatics รวมทั้งความสัมพันธ์กับสาขาวิชาอื่นๆ เช่น พยาบาลศาสตร์ ด้วย²⁴⁻²⁸ ซึ่งแสดงให้เห็นตัวอย่างความสัมพันธ์และเชื่อมโยงในหลายมิติระหว่างสาขาวิชาและแขนงวิชาต่างๆ

ความเชื่อมโยงกับสาขาวิชาอื่น

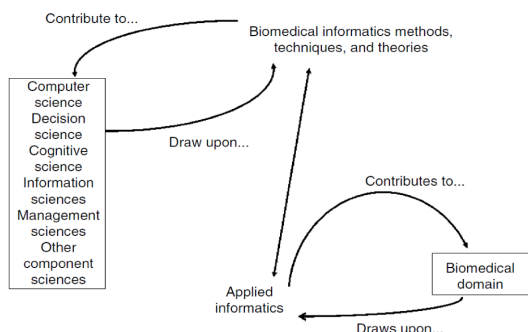
ดังที่ได้กล่าวมาแล้วว่าสาขาวิชา biomedical informatics นำองค์ความรู้จากสาขาวิชาอื่นๆ หลายสาขาวิชามาประยุกต์ใช้ในบริบทด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ สาขาวิชานี้จึงมีความเชื่อมโยงกับสาขาวิชาอื่น อาทิเช่น

- สาขาวิชาด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น วิทยาการคอมพิวเตอร์ (computer science) วิทยาการสารสนเทศหรือสารสนเทศศาสตร์ (information science) เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร (information and communication technology) วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ (computer engineering) และวิศวกรรมซอฟต์แวร์ (software engineering) เป็นต้น
- วิศวกรรมศาสตร์ ซึ่งนอกจากสาขาทางเทคนิคอย่างวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมซอฟต์แวร์ และวิศวกรรมไฟฟ้า (electrical engineering) ที่อาจเกี่ยวข้องแล้ว การออกแบบระบบสารสนเทศที่เหมาะสมกับบริบทด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ ยังใช้องค์ความรู้ด้านการออกแบบกระบวนการทำงาน (business process reengineering) ของวิศวกรรมอุตสาหกรรม (industrial engineering) ด้วย นอกจากนี้ งานด้าน biomedical informatics บางอย่าง

อาจเชื่อมโยงกับการออกแบบและผลิตอุปกรณ์เพื่อใช้ในการตรวจรักษาผู้ป่วย ซึ่งเป็นงานในสาขาวิศวกรรมชีวการแพทย์ (biomedical engineering) ด้วย

- บรรณารักษศาสตร์ (library science) สารสนเทศศาสตร์ (information science) ระบบค้นคืนสารสนเทศ (information retrieval) และการจัดการความรู้ (knowledge management) ซึ่งเป็นสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลสารสนเทศและความรู้จึงเชื่อมโยงกับงานด้าน biomedical informatics
- Cognitive science และ decision science ซึ่งเกี่ยวข้องกับการรับรู้ ความคิด และการตัดสินใจของมนุษย์ ซึ่งเป็นเรื่องสำคัญในการนำระบบสารสนเทศมาช่วยบุคลากรทางการแพทย์ในการปฏิบัติงาน
- สังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ (social sciences and humanities) เช่น สังคมวิทยา (sociology) ซึ่งเกี่ยวกับมิติด้านสังคมของมนุษย์ และจิตวิทยา (psychology) ที่ช่วยให้เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มคนในองค์กรและวิถีคิดของบุคคล ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนการนำระบบสารสนเทศมาสนับสนุนการทำงานของคน โดยเฉพาะบุคลากรทางการแพทย์ รวมทั้งการทำวิจัยเชิงคุณภาพ บางรูปแบบซึ่งอาจนำแนวคิดและเทคนิคด้านมานุษยวิทยา (anthropology) มาใช้ นอกจากนี้ยังงานในสาขาวิชา biomedical informatics บางด้าน อาจเกี่ยวข้องกับความรู้ด้านนิติศาสตร์ (law) และจริยศาสตร์ (ethics) เช่น ประเด็นเกี่ยวกับข้อมูลส่วนบุคคลด้านสุขภาพ หรือผลทางกฎหมายของการใช้ระบบสารสนเทศในการให้บริการ รัฐศาสตร์ (political science) เช่น งานที่เกี่ยวข้องกับระดับนโยบาย ตลอดจนภาษาศาสตร์ (linguistics) เช่น การวิจัยเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีที่ช่วยให้คอมพิวเตอร์เข้าใจและสื่อสารกับมนุษย์ได้ดีขึ้นด้วย
- ชีวสถิติ (biostatistics) ระบาดวิทยา (epidemiology) และระเบียบวิธีวิจัย (research methodology) ซึ่งเป็นเทคนิคและกระบวนการในการทำการศึกษาระบาดวิทยาและวิเคราะห์ข้อมูลงานด้านนี้จึงเชื่อมโยงกับการจัดการข้อมูลของสาขาวิชา biomedical informatics นอกจากนี้องค์ความรู้ของสาขาวิชา biomedical informatics ก็เกิดขึ้นจากการทำการศึกษาระบาดวิทยาและใช้สถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วย
- ความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์การแพทย์ (medical sciences) และสาธารณสุขศาสตร์ (public health) รวมทั้งสาขาวิชาชีพต่างๆ ทางสุขภาพ เช่น พันธุศาสตร์ เภสัชศาสตร์ พยาบาลศาสตร์ และสัตวแพทยศาสตร์ ซึ่งสาขาวิชาต่างๆ ด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ เป็น domain ที่งานส่วนใหญ่ของ biomedical informatics พยายามจะตอบโต้ด้วย

- วิทยาการจัดการ (management science) เนื่องจากงานด้าน biomedical informatics เป็นเรื่องที่ไม่ได้เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีแต่เพียงอย่างเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับทั้งกับคน ระบบและกระบวนการทำงาน (work systems and work processes) และองค์กรด้วย จึงจำเป็นจะต้องมีความรู้ ความเข้าใจแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารจัดการ (management) นอกจากนี้ การบริหารจัดการระบบสารสนเทศในองค์กร ก็ยังต้องมีความเข้าใจเกี่ยวกับ



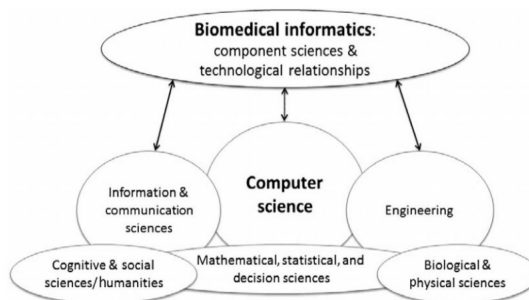
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่าง biomedical informatics กับสาขาวิชาอื่นๆ (ทำซ้ำจาก Shortliffe EH, Blois MS. The computer meets medicine and biology: emergence of a discipline. In: Shortliffe EH, Cimino JJ, editors. Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine. 3rd ed. New York: Springer; 2006. Figure 1.22, Component sciences in biomedical informatics; p. 37. With kind permission from Springer Science and Business Media.)

ความสำคัญของสาขาวิชาต่อระบบสุขภาพ

จะเห็นได้ว่า งานด้าน biomedical informatics แรกแขนงไปมากมาย ตามความกว้างและความลึกของงานด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ ทั้งนี้เพราะข้อมูลสารสนเทศมีความสำคัญต่อการทำงานของผู้ปฏิบัติงานทุกระดับ ในทุกภาคส่วน Shortliffe ได้กล่าวถึงความสำคัญของข้อมูลสารสนเทศต่อการทำเวชปฏิบัติของแพทย์ไว้ในบทความที่เสนอว่า การศึกษาของแพทย์ในศตวรรษที่ 21 จำเป็นจะต้องมีทั้ง 3 ศาสตร์ คือ วิทยาศาสตร์พื้นฐาน (basic science) วิทยาศาสตร์การแพทย์คลินิก (clinical science) และสารสนเทศศาสตร์/วิทยาการสารสนเทศ (information science) โดยได้อ้างเหตุผลสนับสนุนว่าข้อมูลสารสนเทศมีความจำเป็นสำหรับแทบทุกกิจกรรมในทางคลินิก และไม่ว่าแพทย์จะกำลังดูแลผู้ป่วยอยู่หรือไม่ก็ตาม ในการปฏิบัติหน้าที่ของแพทย์จะต้องเกี่ยวข้องกับข้อมูลของผู้ป่วยเสมอ²⁹

แนวคิดด้านการบริหารจัดการด้วย จึงจะประสบความสำเร็จ

Shortliffe & Blois⁵ ได้แสดงแผนภาพที่ช่วยให้เข้าใจความเชื่อมโยงระหว่างสาขาวิชาเหล่านี้ กับงานวิจัยพื้นฐานด้าน biomedical informatics และงานเชิงประยุกต์ของสาขาวิชา biomedical informatics ไว้ในภาพที่ 5 และ Kulikowski et al.¹⁰ ได้นำเสนอแผนภาพที่คล้ายคลึงกัน ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง biomedical informatics กับสาขาวิชาอื่นๆ (ทำซ้ำจาก Kulikowski CA, Shortliffe EH, Currie LM, et al. AMIA Board white paper: definition of biomedical informatics and specification of core competencies for graduate education in the discipline. J Am Med Inform Assoc. 2012;19(6):931-8. Figure 4, Component sciences and disciplines upon which biomedical informatics depends and to which it contributes; p. 937. โดยได้รับอนุญาตจาก Oxford University Press.)

ในปี ค.ศ. 2007 (พ.ศ. 2550) องค์การอนามัยโลก ได้เสนอกรอบแนวคิดเกี่ยวกับระบบสุขภาพ เรียกว่า “The building blocks of the health system”^{30,31} ซึ่งนิยามเรียกกันว่า “Six building blocks” ของระบบสุขภาพ โดยมองว่า ระบบสุขภาพใดๆ มีองค์ประกอบ (building blocks) ที่สำคัญ 6 องค์ประกอบ ได้แก่ การจัดการบริการสุขภาพ (service delivery); บุคลากรสุขภาพ (health workforce); สารสนเทศสุขภาพ (health information); เทคโนโลยีทางการแพทย์ (medical technologies) ซึ่งรวมถึงยา เวชภัณฑ์ วัคซีน และเทคโนโลยีอื่นๆ ที่จำเป็น; การเงินการคลังด้านสุขภาพ (health financing); และการนำและการอภิบาลระบบ (leadership and governance) ดังภาพที่ 7³¹

จะเห็นว่า องค์การอนามัยโลกมองว่า ข้อมูลสารสนเทศสุขภาพ มีความสำคัญในฐานะ 1 ใน 6 เสาหลักของระบบ

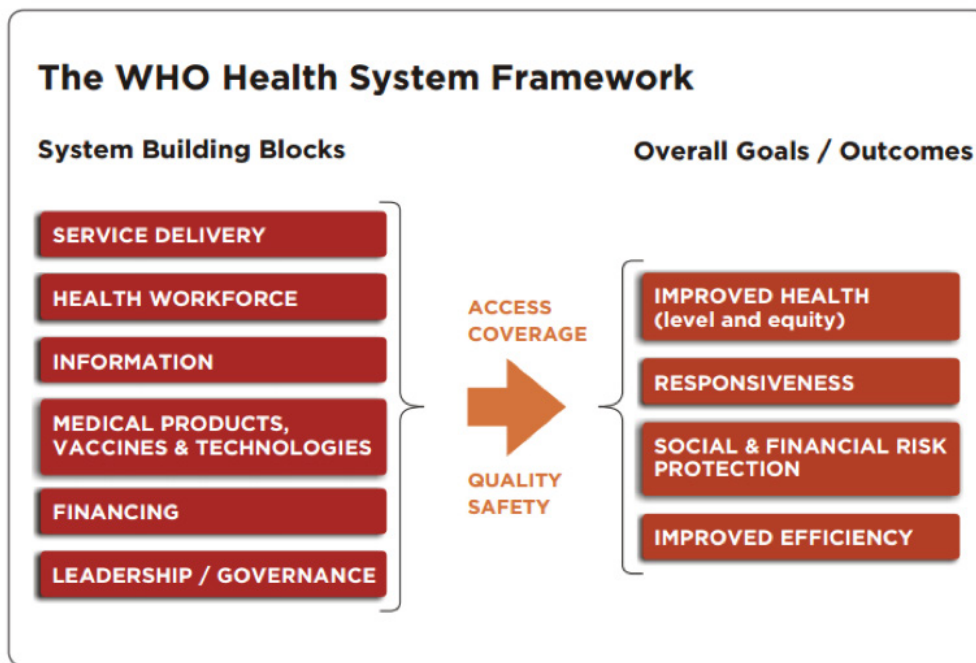
สุขภาพ โดยได้อธิบายเพิ่มเติมว่า ระบบสุขภาพที่ดี พึงทำให้มีการผลิต วิเคราะห์ เผยแพร่ และใช้ข้อมูลสารสนเทศที่เชื่อถือได้และทันสถานการณ์ ซึ่งรวมถึงข้อมูลสารสนเทศเกี่ยวกับปัจจัยกำหนดสุขภาพ (health determinants) ผลการดำเนินงานของระบบสุขภาพ (health systems performance) และสถานะสุขภาพ (health status)^{30,31} จะเห็นว่ากรอบแนวคิดขององค์การอนามัยโลก ตอกย้ำความสำคัญของข้อมูลสารสนเทศในงานทุกด้านในทางชีวการแพทย์และสุขภาพ และทำให้เข้าใจถึงความกว้าง ความลึก และความจำเป็นที่ต้องแตกแขนงวิชาย่อยๆ ของสาขาวิชา biomedical informatics ได้เป็นอย่างดี

บทความนี้ ไม่อาจยกตัวอย่างเนื้องานและหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแต่ละแขนงวิชาของ biomedical informatics ได้โดยละเอียด แต่เคยมีการตีพิมพ์บทความเกี่ยวกับหัวข้อวิจัยของงานในแขนงวิชาต่างๆ ของ biomedical informatics ในบริบทของประเทศไทยแล้ว³² ซึ่งผู้ที่สนใจสามารถศึกษาได้จากบทความดังกล่าว

สรุป

สาขาวิชา biomedical informatics หรือ biomedical and health informatics มีการแตกแขนงวิชาเป็นหลายแขนง โดยอาจแบ่งเป็นแขนงวิชาต่างๆ ได้ตาม spectrum ของงาน

ด้านชีวการแพทย์และสุขภาพ ตั้งแต่ระดับเซลล์และโมเลกุล (bioinformatics) ไปจนถึงระดับประชากรและสังคม (public health informatics) นอกจากนี้ยังมีแขนงวิชาย่อยๆ ของแขนงวิชา clinical informatics ตามวิชาชีพด้านสุขภาพต่างๆ เช่น nursing informatics, dental informatics และ pharmacy informatics รวมทั้งแขนงวิชาย่อยในมุมมองของผู้ป่วยและประชาชน คือ consumer health informatics ด้วย ทั้งยังมีแขนงวิชาที่เรียกว่า translational bioinformatics และ clinical research informatics ช่วยอุดช่องว่างระหว่าง spectrum และส่งเสริมให้เกิดการนำองค์ความรู้และนวัตกรรมไปใช้ต่อยอดในบริบทที่สูงขึ้น ตามแนวคิดของ translational medicine ด้วย สาขาวิชา biomedical informatics และแขนงวิชาเหล่านี้ มีความเชื่อมโยงกับสาขาวิชาอื่นๆ มากมาย ไม่เพียงเฉพาะสาขาวิชาด้านเทคนิค เช่น computer science และ information science เท่านั้น แต่ยังรวมถึงสาขาวิชาทาง social sciences และสาขาวิชาอื่นๆ อีกด้วย ความสำคัญของสาขาวิชา biomedical informatics เกิดขึ้นจากความจำเป็นในการใช้ข้อมูลสารสนเทศในแทบทุกกิจกรรมและทุกบริบทในทางชีวการแพทย์และสุขภาพ ทำให้สาขาวิชานี้ถือเป็นส่วนสำคัญของการพัฒนาระบบสุขภาพในอนาคต ดังคำกล่าวที่ว่า “สู่สุขภาพด้วยสารสนเทศ”



ภาพที่ 7 Six building blocks ของระบบสุขภาพและเป้าหมาย (ทำซ้ำจาก de Savigny D, Adam T, editors. Systems thinking for health systems strengthening. Geneva: World Health Organization; 2009. Figure 1.1, The building blocks of the health system: aims and attributes; p. 31. โดยได้รับอนุญาตจาก World Health Organization.)

เอกสารอ้างอิง

1. Blumenthal D, Glaser JP. Information technology comes to medicine. *N Engl J Med*. 2007;356(24):2527-34.
2. Hersh WR. Medical informatics: improving health care through information. *JAMA*. 2002;288(16):1955-8.
3. นวนรรณ วีระอัมพรพันธุ์. สู่สุขภาพด้วยสารสนเทศ: บทความทบทวนสาขาวิชา Biomedical and Health Informatics, ตอนที่ 1—กำเนิดของ Informatics และชื่อสาขาอื่นหลากหลาย. *วารสารสมาคมเวชสารสนเทศไทย*. 2558;1(1):1-12.
4. Kukafka R, O'Carroll PW, Gerberding JL, et al. Issues and opportunities in public health informatics: a panel discussion. *J Public Health Manag Pract*. 2001;7(6):31-42.
5. Shortliffe EH, Blois MS. The computer meets medicine and biology: emergence of a discipline. In: Shortliffe EH, Cimino JJ, editors. *Biomedical informatics: computer applications in health care and biomedicine*. 3rd ed. New York: Springer; 2006. p. 3-45.
6. Shortliffe EH. JBI status report. *J Biomed Inform*. 2002;35(5-6):279-80.
7. The Science of Informatics | AMIA [Internet]. Bethesda (MD): American Medical Informatics Association; 2015 [cited 2015 Apr 19]. Available from: <https://www.amia.org/about-amia/science-informatics>.
8. Hersh W. A stimulus to define informatics and health information technology. *BMC Med Inform Decis Mak*. 2009;9:24.
9. Butte AJ. Translational bioinformatics: coming of age. *J Am Med Inform Assoc*. 2008;15(6):709-14.
10. Kulikowski CA, Shortliffe EH, Currie LM, et al. AMIA Board white paper: definition of biomedical informatics and specification of core competencies for graduate education in the discipline. *J Am Med Inform Assoc*. 2012;19(6):931-8.
11. Sarkar IN, Butte AJ, Lussier YA, Tarczy-Hornoch P, Ohno-Machado L. Translational bioinformatics: linking knowledge across biological and clinical realms. *J Am Med Inform Assoc*. 2011;18(4):354-7.
12. Remarks by the President on Precision Medicine | The White House [Internet]. Washington, DC: The White House; 2015 Jan 30 [cited 2015 Apr 19]. Available from: <https://www.whitehouse.gov/the-press-office/2015/01/30/remarks-president-precision-medicine>.
13. Sarkar IN. Biomedical informatics and translational medicine. *J Transl Med*. 2010;8:22.
14. Bernstam EV, Hersh WR, Johnson SB, et al. Synergies and distinctions between computational disciplines in biomedical research: perspective from the Clinical and Translational Science Award programs. *Acad Med*. 2009;84(7):964-70.
15. Greenes RA, Shortliffe EH. Commentary: informatics in biomedicine and health care. *Acad Med*. 2009;84(7):818-20.
16. Cassel CK, Reuben DB. Specialization, subspecialization, and subspecialization in internal medicine. *N Engl J Med*. 2011;364(12):1169-73.
17. Detmer DE, Lumpkin JR, Williamson JJ. Defining the medical subspecialty of clinical informatics. *J Am Med Inform Assoc*. 2009;16(2):167-8.
18. Shortliffe EH. President's column: subspecialty certification in clinical informatics. *J Am Med Inform Assoc*. 2011;18(6):890-1.
19. Lehmann CU, Shorte V, Gundlapalli AV. Clinical informatics sub-specialty board certification. *Pediatr Rev*. 2013;34(11):525-30.
20. Detmer DE, Shortliffe EH. Clinical informatics: prospects for a new medical subspecialty. *JAMA*. 2014;311(20):2067-8.
21. Detmer DE, Munger BS, Lehmann CU. Clinical informatics board certification: history, current status, and predicted impact on the clinical informatics workforce. *App Clin Inform*. 2010;1(1):11-8.
22. Gardner RM, Overhage JM, Steen EB, et al. Core content for the subspecialty of clinical informatics. *J Am Med Inform Assoc*. 2009;16(2):153-7.
23. Safran C, Shabot MM, Munger BS, et al. Program requirements for fellowship education in the subspecialty of clinical informatics. *J Am Med Inform Assoc*. 2009;16(2):158-66.

24. Brennan PF. On the relevance of discipline to informatics. *J Am Med Inform Assoc.* 1994;1(2): 200-1.
25. Saba VK. A look at nursing informatics. *Int J Med Inform.* 1997;44(1):57-60.
26. Masys DR, Brennan PF, Ozbolt JG, Corn M, Shortliffe EH. Are medical informatics and nursing informatics distinct disciplines? The 1999 ACMI debate. *J Am Med Inform Assoc.* 2000;7(3):304-12.
27. Staggers N, Thompson CB. The evolution of definitions for nursing informatics: a critical analysis and revised definition. *J Am Med Inform Assoc.* 2002;9(3):255-61.
28. Brennan PF. A discipline by any other name... *J Am Med Inform Assoc.* 2002;9(3):306-7.
29. Shortliffe EH. Biomedical informatics in the education of physicians. *JAMA.* 2010;304(11):1227-8.
30. Everybody's business: strengthening health systems to improve health outcomes: WHO's framework for action [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2007 [cited 2015 Apr 19]. 44 p. Available from: http://www.who.int/healthsystems/strategy/everybodys_business.pdf
31. de Savigny D, Adam T, editors. Systems thinking for health systems strengthening [Internet]. Geneva: World Health Organization; 2009 [cited 2015 Apr 19]. 107 p. Available from: http://whqlibdoc.who.int/publications/2009/9789241563895_eng.pdf
32. นวนรรณ อีระอัมพรพันธุ์. หัวข้อวิจัยด้านเวชสารสนเทศในบริบทของประเทศไทย. ใน: *Health Informatics: Strengthening through Meaningful Usage of Health Data.* งานประชุมประจำปี สมาคมเวชสารสนเทศไทย ครั้งที่ 20; 26-27 มกราคม 2555; กรุงเทพมหานคร. กรุงเทพมหานคร: สมาคมเวชสารสนเทศไทย; มกราคม 2555.