

Introduction to Stem Cell Medicine

Sorapop Kiatpongsan MD*,
Yuen Tannirandom MD*, Pramuan Virutamasen MD, MSc*

* Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University

Embryonic stem cell is the promising novel therapeutic tool for various degenerative diseases and tissue injuries. With the concept of cell and tissue therapy, many chronic disorders will be curable. The present article provides basic knowledge of stem cell in areas of definition, classification and future clinical applications. In addition, stem cell application is not only focusing on regenerative purpose, but also concentrating on more understanding about the early human development and the pathophysiology of genetic diseases at the cellular level. However, there are some technical problems and ethical concern that should be resolved before applying stem cells into clinical practice.

Keywords: Introduction, Stem cell medicine, Regenerative medicine, Adult stem cell, Embryonic stem cell

J Med Assoc Thai 2006; 89 (1): 111-7

Full text. e-Journal: <http://www.medassocthai.org/journal>

After the first discovery of mouse embryonic stem cell in 1981, many medical and biological scientists have greatly appreciated the specific characteristics and especially the potential of stem cell for treatment of various human diseases. Based on current knowledge in stem cell biology, scientists can develop many disease models to study molecular mechanisms of diseases, related genes, intracellular and intercellular communications, and early stage of human development and then apply this knowledge into clinical practice⁽¹⁻⁴⁾.

During the last decade, there has been a new developing medical science branch, "Regenerative Medicine"^(4,5). Regenerative medicine applies the basic stem cell knowledge to develop specific cell or tissue to replace the original cell or tissue which have been degenerated, injured or damaged by different processes. This is the basic concept of the promising cell and tissue based therapy that would have a potential to make many chronic diseases "curable" such as Diabetes Mellitus type I, Myocardial Infarction^(4,5).

Human embryonic stem cell was first discovered in 1998⁽⁶⁾. This brought about ethical controversies on harvesting techniques, storage methods, research regulation and appropriate control for future clinical applications. However, there are various unique useful

characteristics of human embryonic stem cell that cannot be found in other cell types. As a result, human embryonic stem cell has been focused as the promising therapeutic tool even though there is no final conclusion on the appropriate regulation and control.

Definition⁽¹⁻⁶⁾

Stem cell is a cell that has three specific characteristics: self renewal, remaining in the undifferentiated state and differentiation potential to be a specialized cell.

Classification⁽¹⁻⁶⁾

Stem cell can be classified into 2 categories based on cell origin.

1. Adult stem cell is a stem cell that has developed beyond the embryonic state and usually resides in tissue. It is still in an undeveloped state but has a potential to differentiate into the specific cell type. For example, a myocardial stem cell can develop into a myocardial cell. Based on current data, there is no strong evidence on differentiation potential of adult stem cell from one tissue to other tissue type.

2. Embryonic stem cell or ES cell is a cell from the inner cell mass of developing blastocyst. It has an ability to differentiate into all kinds of cell types. In addition, it is also immortal by self renewal capability. Consequently, ES cell is more promising as a thera-

Correspondence to : Kiatpongsan S, Department of Obstetrics and Gynecology, Faculty of Medicine, Chulalongkorn University, Rama IV Rd, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand.

peutic tool because it has less limitation on differentiation potential.

Moreover, stem cell can be classified by a hierarchal system.

1. Totipotent stem cell is the first stage stem cell that can be found in zygote. It can develop into both embryonic and extraembryonic tissues.

2. Pluripotent stem cell is the later stage of totipotent stem cell. This cell type can develop into all kinds of cells of an embryo (except the extraembryonic tissues). Pluripotent stem cell can be found in an embryo, fetus and developing organism.

3. Multipotent stem cell is a stem cell in any specific tissues, organs or systems. This stem cell has more limited differentiation potential. For instance, hematopoietic stem cell has an ability to develop into only cells in the hematological system.

Progenitor cell is not a stem cell itself but is a descendant of a stem cell. It resides in all tissues. Specific characteristics of progenitor and multipotent stem cell are almost alike except for the self renewal ability not found in the progenitor cell.

Clinical applications

Adult stem cell⁽⁷⁻¹¹⁾

Nowadays, the widely recognized clinical applications of adult stem cell are bone marrow hematopoietic stem cell and cord blood hematopoietic stem cell. They were used for bone marrow transplantation in leukemia, anemia, autoimmune diseases and immunodeficiency cases. Moreover, some scientists try to manipulate bone marrow mesenchymal stem cell into myocardial, bone and cartilaginous cells.

Furthermore, other adult stem cells are of great interest for clinical application as well, such as skin epithelial stem cell, and corneal stem cell. Scientists would like to develop cells and tissues for replacement therapy; for instance, developing of neuroectodermal stem cell for Parkinson's disease and corneal stem cell for corneal replacement in severe corneal injury.

However, there are several limitations of stem cell applications. For instance, it is difficult to harvest an adult stem cell from human tissues due to the fact that the stem cell population is very limited and harvesting techniques of internal organs are technically difficult and risky for adult stem cell donors except for bone marrow and cord blood stem cell. There is also a problem of immunological reaction between transplanted cells and tissues from donor and recipient. Moreover, the quality of an adult stem cell decreases according to the donor's age. This causes limitation on

the concept of self adult stem cell transplantation for degenerative disorders in target populations which usually are senile.

Embryonic stem cell or ES cell⁽¹²⁻¹⁸⁾

Because of the limitations of adult stem cells, embryonic stem cells are more promising as they provide a more flexible differentiation potential. Based on current evidence, scientists have proved that the specialized cell developed from ES cell can grow into diseased tissues and function properly in animal models⁽¹⁹⁻²⁰⁾. These successful clinical applications in animal models have been shown in severe combined immune deficiency, diabetes mellitus type 1, Parkinson's disease, spinal cord injury and demyelinated diseases.

Nevertheless, there are still many limitations to apply this knowledge and experience from animal models into clinical practice.

1. A limitation of knowledge on an integration of stem derived cells and tissues into recipient tissue and long term regulation of transplantation.

2. A limitation on developing an adequate amount of stem cells for therapeutic purposes in humans since the amount of stem cells used in animal models is small.

3. A contamination problem of mouse feeder layer for human embryonic stem cells which can trigger adverse immunological reaction and infection.

In conclusion, stem cell knowledge has been rapidly developing during the past decade. In addition, stem cells have been focused as a promising tool for replacement therapy in the future. It is well established theoretically that stem cells have numerous potentials and unique useful clinical characteristics. However, there are several technical limitations and ethical controversies that require an appropriate solution before further application⁽²¹⁻²⁴⁾.

References

1. Pedersen RA. Developments in human embryonic stem cells. *Reprod Biomed Online* 2005; 10(Suppl 1): 60-2.
2. Edwards BE, Gearhart JD, Wallach EE. The human pluripotent stem cell: impact on medicine and society. *Fertil Steril* 2000; 74: 1-7.
3. Murdoch A. Human embryonic stem cells: an introduction. *Hum Fertil* 2002; 5: 203-5.
4. Menendez P, Wang L, Bhatia M. Genetic manipulation of human embryonic stem cells: a system to study early human development and potential therapeutic applications. *Curr Gene Ther* 2005; 5:

- 375-85.
5. Shufaro Y, Reubinoff BE. Therapeutic applications of embryonic stem cells. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 2004; 18: 909-27.
 6. Thomson JA, Itskovitz-Eldor J, Shapiro SS, Waknitz MA, Swiergiel JJ, Marshall VS, et al. Embryonic stem cell lines derived from human blastocysts. *Science* 1998; 282(5391): 1145-7.
 7. Pedersen RA. Embryonic stem cells for medicine. *Sci Am* 1999;280: 68-73.
 8. Gardner RL. Stem cells: potency, plasticity and public perception. *J Anat* 2002; 200(Pt 3): 277-82.
 9. Levy YS, Stroomza M, Melamed E, Offen D. Embryonic and adult stem cells as a source for cell therapy in Parkinson's disease. *J Mol Neurosci* 2004; 24: 353-86.
 10. Hedrick MH, Daniels EJ. The use of adult stem cells in regenerative medicine. *Clin Plast Surg* 2003; 30: 499-505.
 11. Schultz SS. Adult stem cell application in spinal cord injury. *Curr Drug Targets* 2005; 6: 63-73.
 12. Galli C, Lagutina I, Lazzari G. Introduction to cloning by nuclear transplantation. *Cloning Stem Cells* 2003; 5: 223-32.
 13. Wilmut I, Young L, Campbell KH. Embryonic and somatic cell cloning. *Reprod Fertil Dev* 1998; 10: 639-43.
 14. Piedrahita JA, Mir B. Cloning and transgenesis in mammals: implications for xenotransplantation. *Am J Transplant* 2004; 4(Suppl 6): 43-50.
 15. Rafii S, Lyden D. Therapeutic stem and progenitor cell transplantation for organ vascularization and regeneration. *Nat Med* 2003; 9: 702-12.
 16. Rugg-Gunn PJ, Ferguson-Smith AC, Pedersen RA. Epigenetic status of human embryonic stem cells. *Nat Genet* 2005; 37: 585-7.
 17. Tamkins T. South Koreans create human stem cell line using nuclear transfer. *Lancet* 2004; 363(9409): 623.
 18. Vallier L, Rugg-Gunn PJ, Bouhon IA, Andersson FK, Sadler AJ, Pedersen RA. Enhancing and diminishing gene function in human embryonic stem cells. *Stem Cells* 2004; 22: 2-11.
 19. Barberi T, Klivenyi P, Calingasan NY, Lee H, Kawamata H, Loonam K, et al. Neural subtype specification of fertilization and nuclear transfer embryonic stem cells and application in parkinsonian mice. *Nat Biotechnol* 2003; 21: 1200-7.
 20. Assady S, Maor G, Amit M, Itskovitz-Eldor J, Skorecki KL, Tzucker-man M. Insulin production by human embryonic stem cells. *Diabetes* 2001; 50: 1691-7
 21. Surani A. False impressions on human cloning. *Reprod Biomed Online* 2003; 6: 398-9.
 22. Moreno JD, Hynes RO. Guidelines for human embryonic stem cell research. *Nat Biotechnol* 2005; 23: 793-4.
 23. Vats A, Bielby RC, Tolley NS, Nerem R, Polak JM. Stem cells. *Lancet* 2005; 366(9485): 592-602.
 24. Baschetti R. Ethics of embryonic stem cell technology: science versus philosophy. *Intern Med J* 2005; 35: 499-500.

บทนำเซลล์ต้นกำเนิดในทางการแพทย์

สรภพ เกียรติพงษ์สาร, เยื่อน ตันนรินทร์, ประมวล วิรุฒมเสน

เซลล์ต้นกำเนิดจากตัวอ่อนนับเป็นความหวังใหม่ในการรักษาโรคที่เกิดจากการเสื่อมสภาพและภาวะการบาดเจ็บต่าง ๆ โดยวิธีการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อทดแทน ซึ่งจะทำให้โรคที่เรื้อรังหลายโรคเป็นโรคที่สามารถรักษาได้หายขาด บทความนี้กล่าวถึงความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับเซลล์ต้นกำเนิดในด้าน คำจำกัดความ การจำแนกประเภท และการประยุกต์ใช้ในทางคลินิก นอกจากการนำไปสร้างเพื่อการทดแทนแล้ว การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับเซลล์ต้นกำเนิดยังช่วยให้เข้าใจมากขึ้นถึงการเจริญเติบโตพัฒนาการของมนุษย์ในระยะแรกของชีวิต และเข้าใจถึงพยาธิสรีรวิทยาในการเกิดโรคและความผิดปกติทางพันธุกรรมในระดับเซลล์ อย่างไรก็ตามยังคงมีข้อจำกัดทางด้านเทคนิค และจริยธรรมบางประการที่ต้องการข้อสรุปและแนวทางที่เหมาะสมก่อนที่จะนำเซลล์ต้นกำเนิดไปใช้จริงในทางคลินิก

เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนของหนู ถูกค้นพบครั้งแรกในปี พ.ศ. 2524 หลังจากนั้นวงการวิทยาศาสตร์ประยุกต์และวงการแพทย์ก็เกิดขึ้นตัวที่จะนำคุณลักษณะเฉพาะที่มีประโยชน์อย่างมากของ เซลล์ต้นกำเนิดมาใช้เพื่อการรักษาโรคในมนุษย์ จากความรู้ในปัจจุบันของเซลล์ต้นกำเนิดทำให้เราสามารถสร้าง แบบจำลองเพื่อศึกษากลไกในระดับลึกของการเกิดโรคต่าง ๆ ศึกษาถึงหน่วยพันธุกรรมที่เกี่ยวข้อง ศึกษาถึงการสื่อสารทั้งภายในเซลล์และระหว่างเซลล์ การพัฒนาการในระยะเริ่มแรกของชีวิตมนุษย์ ตลอดจนการ ศึกษาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้รักษาโรค ซึ่งขณะนี้ก็มีผลสำเร็จจากการศึกษาวิจัยในระยะเริ่มต้นในสัตว์ทดลองแล้ว⁽¹⁻⁴⁾

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา มีสาขาวิชาทางการแพทย์เกิดขึ้นใหม่ คือ “Regenerative Medicine” ซึ่งประยุกต์นำคุณประโยชน์และความรู้เรื่องเซลล์ต้นกำเนิดมาใช้สร้างเซลล์และอวัยวะทดแทนในกรณีของโรคที่เกิดจากความเสื่อม ความชรา และการบาดเจ็บ โดยหลักการของการรักษาโดยใช้เซลล์และเนื้อเยื่อ และเป็นวิธีการที่คาดว่าจะสามารถรักษาโรคหลายชนิดได้หายขาด เช่น กรณีของโรคเบาหวานชนิดที่ 1 และ โรคกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือด^(4,5)

การค้นพบเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนของมนุษย์เกิดขึ้นครั้งแรกเมื่อปี พ.ศ. 2541⁽⁶⁾ ซึ่งก่อให้เกิดข้อถกเถียงอย่างมากในเชิงจริยธรรม ตั้งแต่การได้มา การเก็บรักษาและการควบคุมในระดับการวิจัยตลอดจนการนำไปใช้จริงทางคลินิกในอนาคต แต่เนื่องจากคุณลักษณะจำเพาะหลายประการที่ไม่สามารถพบได้ในเซลล์ชนิดอื่น ๆ ของมนุษย์ ทำให้เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนของมนุษย์ยังคงเป็นความหวังสำคัญในการรักษาโรคต่าง ๆ แม้จะมีประเด็นทางจริยธรรมอีกมากที่ยังต้องรอหาข้อสรุปที่เหมาะสมต่อไป

คำจำกัดความ⁽¹⁻⁶⁾

เซลล์ต้นกำเนิด เป็นเซลล์ที่มีลักษณะเฉพาะ คือความสามารถในการสร้างเซลล์ทดแทนตนเอง ความสามารถในการคงสภาพความเป็นเซลล์ต้นกำเนิด และ ศักยภาพ เปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์จำเพาะชนิดต่าง ๆ ได้ในสภาวะที่เหมาะสม

การแบ่งชนิดของเซลล์ต้นกำเนิด⁽¹⁻⁶⁾

สามารถแบ่งได้ตามแหล่งที่มาของเซลล์ต้นกำเนิด ได้เป็น

1. เซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่ คือเซลล์ต้นกำเนิดที่พบในเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในสิ่งมีชีวิตที่พัฒนา ไปเกินกว่าระยะ

ตัวอ่อนแล้ว แต่ยังคงลักษณะความเป็นเซลล์ที่ไม่พัฒนาไปเป็นเซลล์จำเพาะชนิดใดชนิดหนึ่ง มักจะมีศักยภาพในการพัฒนาไปเป็นเซลล์จำเพาะชนิดต่าง ๆ ของอวัยวะนั้น ๆ ได้ เช่น เซลล์ต้นกำเนิดของกล้ามเนื้อหัวใจ สามารถเจริญไปเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจได้ หลักฐานในปัจจุบันยังไม่ชัดเจนว่าเซลล์ต้นกำเนิดชนิดนี้จะสามารถเจริญข้ามไปเป็นเซลล์ของอวัยวะอื่น ๆ ได้หรือไม่ และมีข้อจำกัดมากน้อยเพียงใด

2. **เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน** คือเซลล์ที่อยู่ในส่วน inner cell mass ของ developing blastocyst มีลักษณะจำเพาะคือสามารถสร้างเซลล์ในลักษณะเดิมทดแทนตัวเองได้ สามารถพัฒนาเป็น เซลล์ทุกชนิดของร่างกายได้ และมีความเป็นอมตะ ซึ่งทำให้ได้รับความสนใจในแง่ของการนำมาใช้ได้ในวงกว้างและมีข้อจำกัดทางชีววิทยาน้อยกว่าเซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่

หรืออาจสามารถแบ่งชนิดของเซลล์ต้นกำเนิดตามลำดับขั้นของพัฒนาการ ออกเป็น

1. **Totipotent stem cell** เป็นเซลล์ต้นกำเนิดระยะแรกสุดพบได้ในตัวอ่อนของมนุษย์ระยะ zygote สามารถเจริญไปเป็นเซลล์ของทั้งตัวอ่อนและเนื้อเยื่อรอบนอก

2. **Pluripotent stem cell** เป็นเซลล์ต้นกำเนิดที่พบในระยะต่อมาจาก Totipotent stem cell มีความสามารถเปลี่ยนแปลงเป็นเซลล์ต่าง ๆ ของร่างกายได้ทุกชนิด พบได้ในตัวอ่อน ทารกในครรภ์ หรือ สิ่งมีชีวิตที่กำลังอยู่ในระยะพัฒนา

3. **Multipotent stem cell** เป็นเซลล์ต้นกำเนิดที่อยู่ในเนื้อเยื่อเฉพาะอย่าง อวัยวะใดอวัยวะหนึ่ง หรือระบบใดระบบหนึ่ง เช่น เซลล์ต้นกำเนิดของเม็ดเลือด มีความสามารถจำกัดเมื่อเทียบกับ Pluripotent stem cell เนื่องจากไม่สามารถพัฒนาไปเป็นเซลล์ทุกชนิดของร่างกายได้

ส่วน Progenitor cell คือเซลล์ที่พัฒนาต่อมาจากเซลล์ต้นกำเนิดข้างต้น สามารถพบได้ตามอวัยวะต่าง ๆ มีคุณลักษณะคล้ายกับเซลล์ต้นกำเนิดชนิด multipotent เกือบทุกประการ แต่ขาดความสามารถแบ่งเซลล์ทดแทนตนเองได้

ประโยชน์ทางการแพทย์ของเซลล์ต้นกำเนิด

เซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่⁽⁷⁻¹¹⁾

เซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่ที่นำมาใช้ประโยชน์อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน คือเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือดในไขกระดูก และเซลล์ต้นกำเนิดเม็ดเลือดจากสายสะดือทารก โดยใช้ในการปลูกถ่ายไขกระดูกเพื่อรักษาโรคเลือด เช่น โรคเม็ดเลือดขาว ภาวะซีด โรคที่เกิดจากภูมิคุ้มกันต่อต้านตนเองหรือภาวะ ภูมิคุ้มกันบกพร่อง เป็นต้น ในปัจจุบันมีความพยายามในการเปลี่ยนเซลล์ต้นกำเนิดเนื้อเยื่อเกี่ยวพันจากไขกระดูก เพื่อใช้ทดแทนเป็นเซลล์กล้ามเนื้อหัวใจ เซลล์กระดูกและเซลล์กระดูกอ่อน

นอกจากนี้ ยังมีเซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่อื่นๆ ที่ได้รับความสนใจในทางคลินิกได้แก่ เซลล์ต้นกำเนิดที่ผิวหนัง และที่กระจกตา โดยมีความพยายามในการสร้างเซลล์และเนื้อเยื่อทดแทนแล้วนำไปปลูกถ่าย เช่น การสร้างเซลล์ประสาทจากเซลล์ต้นกำเนิดที่ผิวหนังเพื่อรักษาโรคพาร์กินสัน การสร้างเนื้อเยื่อกระจกตาทดแทนในผู้ป่วยที่ได้รับการบาดเจ็บอย่างรุนแรงต่อผิวกระจกตา

อย่างไรก็ดี มีข้อจำกัดหลายประการในการนำเซลล์ต้นกำเนิดมาใช้ในทางคลินิก คือการเก็บเซลล์ต้นกำเนิดจากเนื้อเยื่อมนุษย์ผู้ใหญ่ยังทำได้ลำบากในทางปฏิบัติ เช่น จำนวนเซลล์ต้นกำเนิดที่จำกัด และการเก็บเซลล์ต้นกำเนิดจากอวัยวะภายในต่าง ๆ ทำได้ยากและอาจเกิดอันตรายต่อมนุษย์ผู้เป็นบริจาคหากยังมีชีวิตอยู่ ยกเว้นในกรณีของไขกระดูกและเลือดจากสายสะดือทารก ปัญหาจากปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันต่อเซลล์แปลกปลอมของร่างกายเมื่อ

จะนำไปปลูกถ่าย รวมทั้งคุณภาพของเซลล์ต้นกำเนิดที่เสื่อมลงตามวัย ทำให้เป็นข้อจำกัดในการนำเซลล์ต้นกำเนิดของตนเองจากผู้สูงอายุมาใช้เพื่อลดปัญหาเรื่องปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันต้านทาน ทั้งเป็นประชากรกลุ่มเป้าหมายที่จะได้รับประโยชน์จากโรคอันเนื่องมาจากความชรา

เซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน⁽¹²⁻¹⁸⁾

จากข้อจำกัดหลายประการของเซลล์ต้นกำเนิดในผู้ใหญ่ ทำให้เกิดแนวคิดในการนำเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนซึ่งมีความยืดหยุ่นในการพัฒนาการมากกว่ามาใช้ แม้ในปัจจุบันยังไม่สามารถนำมาใช้ได้จริงในทางคลินิก แต่จากผลการทดลองในสัตว์พบว่า เซลล์ที่เจริญมาจากเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อน สามารถแทรกตัวเข้าไปอยู่ในเนื้อเยื่อของสัตว์ที่เป็นโรคหรือถูกทำลาย และทำงานได้อย่างเหมาะสม โรคที่สามารถใช้เซลล์ต้นกำเนิด ตัวอ่อนในการรักษาในสัตว์ทดลองได้ผลสำเร็จแล้ว^(19,20) ได้แก่ โรคกล้ามเนื้อหัวใจตาย ภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง โรคเบาหวานชนิดที่ 1 โรคพาร์กินสัน ภาวะการบาดเจ็บของไขสันหลัง และการเสื่อมของปลอกหุ้มเส้นใยประสาท แต่การประยุกต์ความรู้จากในสัตว์ทดลองมา ใช้ในทางคลินิกของมนุษย์ยังคงมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

1. ข้อจำกัดในการรวมตัวของเซลล์ต้นกำเนิดและเนื้อเยื่อที่ปลูกถ่ายกับเซลล์และเนื้อเยื่อดั้งเดิม และการควบคุมการทำงานในระยะยาว
2. การเพิ่มจำนวนเซลล์ให้เพียงพอสำหรับใช้ในการรักษา เนื่องจากเซลล์ที่ใช้ในสัตว์ทดลองมีจำนวนน้อยมากเมื่อเทียบกับปริมาณที่ต้องใช้จริงในมนุษย์
3. ปัญหาปฏิกิริยาภูมิคุ้มกันต้านทาน เนื่องจากการใช้เซลล์ที่เลี้ยงจากหนูมาเพาะเลี้ยงเซลล์ต้นกำเนิดตัวอ่อนของมนุษย์ ทำให้มีโอกาสเกิดการปนเปื้อนเซลล์และโรคจากสัตว์มายังมนุษย์ได้

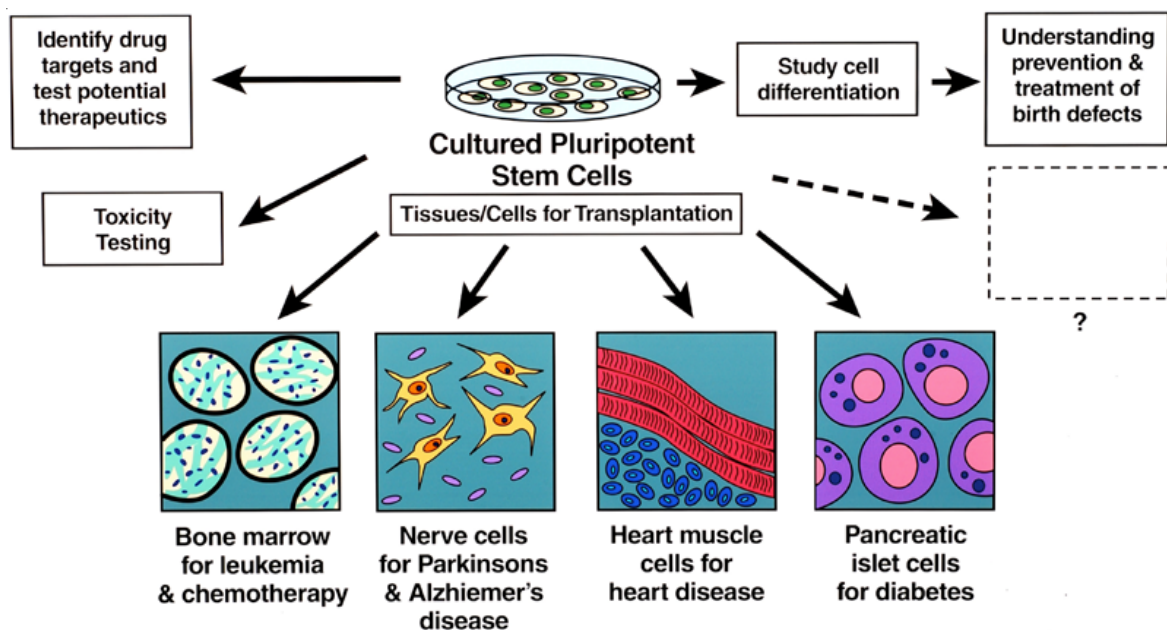


Fig. 1 The promise of stem cell research (<http://stemcells.nih.gov/info/media/>)

กล่าวโดยสรุป ความรู้เกี่ยวกับเซลล์ต้นกำเนิดเป็นความรู้ที่มีความก้าวหน้าอย่างรวดเร็วมากในช่วง 10-20 ปีที่ผ่านมา และเริ่มมีแนวคิดเพื่อการนำมาใช้ในการรักษาโรคอย่างจริงจังในอนาคต แม้ว่าในทางทฤษฎีแล้ว เซลล์ต้นกำเนิดจะมีศักยภาพและคุณลักษณะที่ดีหลายประการ แต่การนำมาใช้ในทางปฏิบัติยังมีข้อจำกัดทางเทคนิคหลายประการ รวมถึงข้อสรุปทางจริยธรรมที่ต้องการข้อคิดเห็นจากสังคมต่อไป⁽²¹⁻²⁴⁾

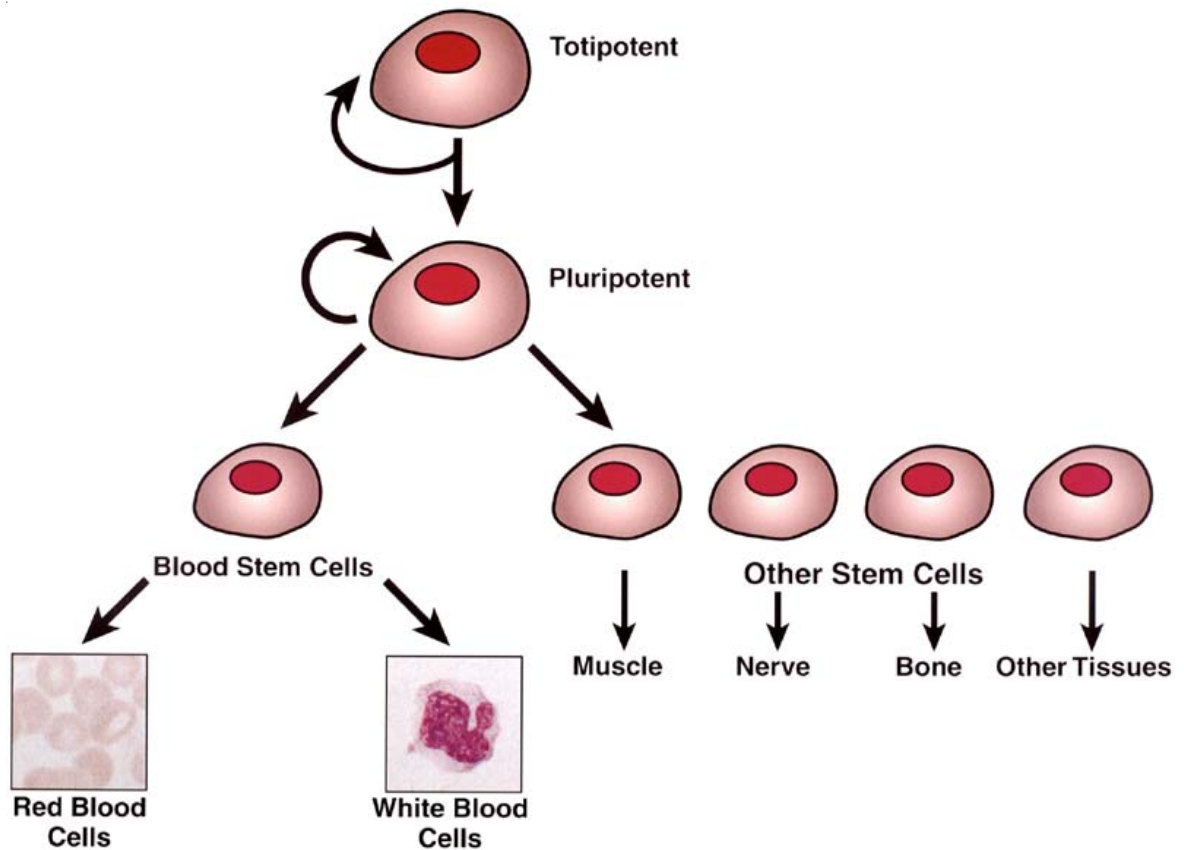


Fig. 2 Hierarchy of stem cells (<http://stemcells.nih.gov/info/media/>)