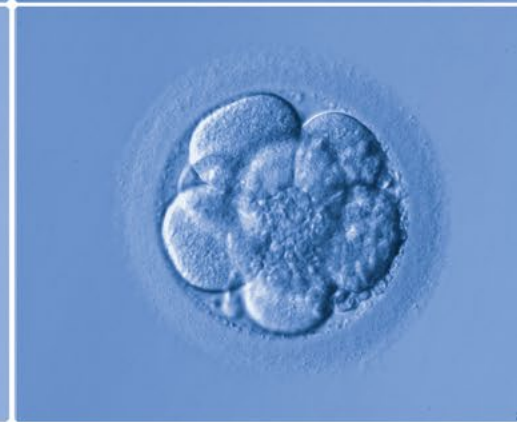
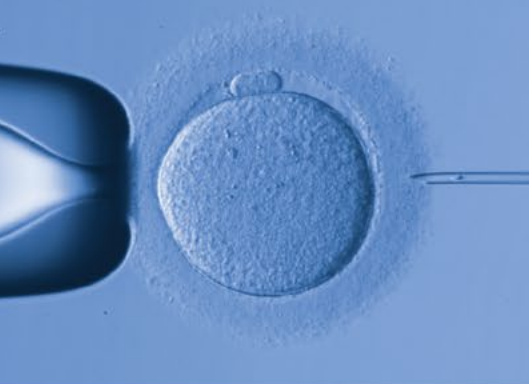




דמותו של ויכוח אתי האם להתיר ניסויים בעריכת גנים בעוברי אדם?

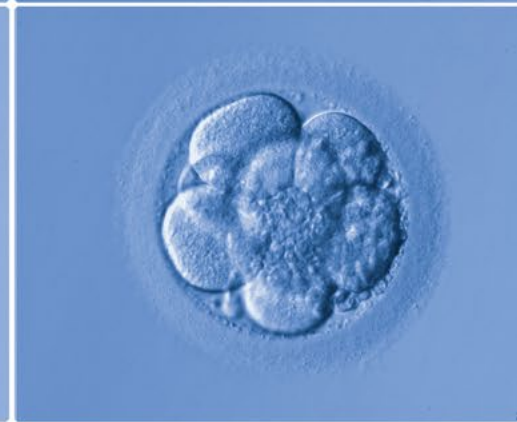
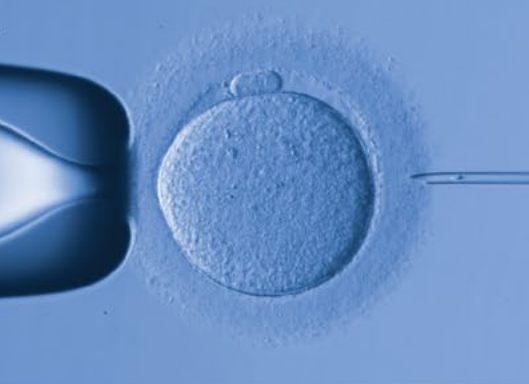
לפני כשנתיים התפרסם מחקר של חוקרים שהצליחו לבצע עריכת גנים בעוברים של אדם מיד לאחר ההפריה¹. החוקרים השתמשו במערכת CRISPR/Cas9 ובעזרתה שינו בעוברים את האלל הנורמלי של הגן המקודד ל-CCR5, קולטן המאפיין תאי דם לבנים מסוג T. השינוי גרם לכך שהאלל הנורמלי הוחלף באלל ובו מוטציית חסר של קטע מסוים ב-DNA (CCR5Δ32). החוקרים דיווחו במאמר על הצלחתם לבצע החלפה מדויקת, אך ציינו כמה בעיות טכניות שעליהם להתגבר עליהן בהמשך.

כמו כן החוקרים הבהירו שהמחקר נועד לבדוק היתכנות של השיטה; שהעוברים ששימשו למחקר הם פוליספרמיים² ואינם מסוגלים להתפתח; ושהעוברים הושמדו לאחר הניסוי. נוסף על כך הם הביעו את דעתם הנחרצת שיש למנוע עריכת גנים בתאי מין, אם לא נערכו תחילה דיונים מעמיקים בוועדות אתיקה.

המחקר עורר ויכוח אתי בנוגע לשאלה אם מוסרי לבצע עריכת גנים בעוברי אדם. להלן מובאים שני מאמרי דעה של חוקרים המביעים דעות מנוגדות הנותנים הצצה אל מאפייניו של ויכוח אתי.

¹ Liang, P., Xu, Y., Zhang, X., Ding, C., Huang, R., Zhang, Z., Lv, Jie et al. (2015). CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes. Protein Cell 6(5), 363–372.

² זיגוטות פוליספרמיות (polyspermic zygote): זיגוטה שנוצרה על ידי הפריית ביצית באמצעות שני תאי זרע.



א. אל תערכו את הגנום של תאי המין

עיבוד על פי המכתב³:

Edward Lanphier, Fyodor Urnov, Sarah Ehlen Haecker, Michael Werner & Joanna Smolenski (2015): Don't edit the human germ line. Nature 519, 410–411.

התרת טיפולים כאלה תגרום למדרון חלקלק שיוביל לשימוש בשיטה לצורך השבחה גנטית, ולא לצורך ריפוי מחלות

כלים לעריכת גנים

עריכת גנים בתאים סומטיים נועדה לתקן מוטציה שגורמת למחלה. ההנחה היא שתיקון המוטציה במספר גדול מספיק של תאים שיישמרו לאורך כל חייהם של התאים ושל תאי הבת שלהם יגרום לריפוי החולה. לדוגמה, בחיפוש אחר טיפול ל-HIV התקווה היא שהזרקה תוך-ורידית של תאי T שעברו שינוי גנטי באמצעות ZFNs תאפשר לחולים להפסיק ליטול תרופות נגד נגיף רטרו. גישה דומה לגבי β -תלסמיה נמצאת כבר בתחילת הניסוי הקליני הראשון.

לאחרונה נוספה לסל השיטות לעריכת גנים מערכת ה-CRISPR/Cas9 שמקורה בחיידקים, המבוססת על זיווג בסיסים בין רצפי RNA לרצפי DNA. החיסרון בשיטה זו הוא שקשה לשלוט בכמות התאים העוברים את השינוי הגנטי. בשל כך מנסים למצוא תנאים המעלים את מספר התאים המתוקנים, כמו העלאת ריכוז האנדונוקלאזות⁴, והדבר עלול לגרום לשברים ברצפי DNA גם באזורים שאינם גן המטרה.

לשיטה יש חסרונות נוספים כאשר מערכת המחקר היא עובר: מחקרים בעריכת גנים שנערכו בעוברים של בעלי חיים כמו חולדות, בקר, כבשים וחזירים הראו שבעוברים נוקלאזות עלולות לחתוך רק אחד משני האללים של הגן, או שהתא עלול להתחלק לפני השלמת התיקון, וכתוצאה מכך תיווצר ביצור המתפתח מוזאיקה של תאים (Kang, 2014).

נכון להיום אפשר לבצע בקרת איכות לתהליך העריכה הגנטית רק על חלק מהתאים בעובר. לכן רק לאחר הלידה אפשר יהיה לדעת מה טיבה האמיתי של העריכה. אפילו אז עלולות לצוץ בעיות רק לאחר שנים. מסיבה זו שיטות מוכרות שיש בהן ניסיון רב - כמו אבחון פגם גנטי לפני השרשת העובר ברחם (אבחון טרום השרשתי) והפריה חוץ-גופית (IVF) - הן אפשרות בטוחה וטובה הרבה יותר להורים ששניהם נשאים של מחלה.

בקרב יתפרסם מאמר המציג שימוש שנעשה בשיטות עריכת גנים לשינוי DNA של עוברי אדם (Huang et al., 2015). אנו, כותבי מכתב זה, מעלים חששות כבדים בנוגע להשלכות האתיות והבטיחותיות של מחקר מסוג זה, ודאגה רבה מההשפעה השלילית שיכולה להיות לו על מחקרים חשובים המעריכים שיטות עריכת גנים בתאים סומטיים (לא בתאי מין).

כולנו (כותבי המכתב) מעורבים בתחום עריכת גנים בתאים סומטיים. אחד מאתנו, פיודור אורנוב, השתתף בפיתוח הטכנולוגיה הראשונה לעריכת גנים, zincfinger nucleases (ZFNs), וכעת הוא מדען בכיר בחברה המפתחת אותן למוצר שיווקי. אדוארד לנפיאר ושרה היקר מעורבים בארגון בין-לאומי המייצג יותר ממאתיים חברות העוסקות במדעי החיים, מכוני מחקר, ארגונים ללא מטרת רווח, קבוצות למען חולים ומשקיעים הממוקדים בפיתוח ושיווק של טיפולים, כולל עריכת גנים.

עריכת גנים היא שיטה מבטיחה, היכולה לרפא מחלות רבות של בני אדם, כולל HIV, המופילה, אנמיה חרמשית, וחלק ממחלות הסרטן (Carroll, 2014). כל השיטות הנמצאות בניסויים קליניים מתמקדות כרגע בניסויים בתאים סומטיים, כמו תאי T, ואינן משפיעות על תאי המין (ביציות או תאי זרע).

לפי השקפתנו, עריכת גנים בעוברי אדם בשיטות העכשוויות עלולה לגרום להשפעות בלתי צפויות על הדורות הבאים, והדבר הופך את המחקר העוסק בשיטות אלה למסוכן ובלתי מקובל מבחינה אתית. מחקר כזה עלול להיות מנוצל למטרות שאינן טיפוליות או רפואיות. אנו חוששים שתתעורר התנגדות גורפת של הציבור בשל הפרת כללים אתיים, וזו תחבל בתחום מבטיח מבחינת פיתוח טיפולים למחלות, העוסק רק בשינויים גנטיים שאינם תורשתיים.

בשלב זה על קהילת המדענים להסכים מרצונה לא לבצע שינויים ב-DNA של תאי מין של אדם. אם יתעורר בעתיד צורך אמיתי לפתור מקרה רק בדרך של עריכת גנים בתאי המין - נעודד את ההחלטה לגביה בדיון פתוח על הדרך שבה ראוי לנהוג.

נכון להיום אפשר לבצע בקרת איכות לתהליך העריכה הגנטית רק על חלק מהתאים בעובר

³ הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, שנועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

המחקר שהתפרסם על עוברי אדם מציע בעצמו דרכים לבדוק את הפתרונות לבעיות באיכות עריכת הגנים

עניין משפטי

בטיחות החולה היא ערך עליון בטיעונים נגד שינויים בתאי המין באדם. אם נוצר עובר מוזאיקה, שרק חלק מהתאים המרכיבים אותו עברו עריכת גנים, תאי המין של היצור שיתפתח מעובר זה עשויים להכיל או לא להכיל את השינוי הגנטי שנעשה. מכיוון שהשימוש במערכת ה-CRISPR/Cas9 הופך את השינויים בתאי המין לאפשריים, כל טיעון המצדיק שימוש בשיטה זו בעוברי אדם אינו קביל עד שיוכח שההשלכות בטוחות, כולל נתונים לאורך כמה דורות. בשל חשש זה, יש מדינות שאסרו לחלוטין קיומו של מחקר מסוג זה כעשור לפני שהוכח לראשונה שהשיטה עובדת על תאי מין בחולדות (Geurts, 2009). נכון להיום כארבעים מדינות אוסרות שינוי גנטי בתאי מין.

בניסויים בבני אדם חובה על מבצעי הניסוי להביא בפני כל משתתף מידע לא רק על התהליך שהוא עומד לעבור, אלא גם על הסכנות והסיכונים שהוא נוטל על עצמו אם ישתתף בניסוי ואם לא. לאחר שהמשתתף הבין את כל אלה הוא אמור לחתום על טופס הסכמה מדעת להשתתף בניסוי. אולם בניסויים שמבצעים בהם שינויים גנטיים בתאי מין לא ברור איזה מידע צריך יהיה להעביר להורים לעתיד המשתתפים בניסוי על מנת להבהיר להם מהם הסיכונים לצאצא שלהם, ויתר על כן, מהם הסיכונים לדורות הבאים.

רבים מהמתנגדים לשינויים גנטיים בתאי מין טוענים שהתרת טיפולים כאלה תגרום למדרון חלקלק שיוביל לשימוש בשיטה לצורך השבחה גנטית, ולא לצורך ריפוי מחלות. כותבי המאמר שותפים לחששות אלה.

צורך בדיאלוג

לפני כעשר שנים נערך כנס בהשתתפותם של יותר משמונים מדענים מארצות הברית ומקנדה שנועד לבדוק את ההשלכות המדעיות והאתיות של שינויים גנטיים בתאי המין של בני אדם. עתה, משקיימת הטכנולוגיה לשנות DNA של תאי מין, אנו מבקשים מהקהילה המדעית הבינלאומית להתכנס שוב, ויחד עם הציבור לעסוק שנית בדיאלוג מסוג זה, כשם שעשתה

לפי השקפתנו, עריכת גנים בעוברי אדם בשיטות העכשוויות עלולה לגרום להשפעות בלתי צפויות על הדורות הבאים

ממשלת בריטניה לפני קבלת ההחלטה להתיר החלפת DNA מיטוכונדריאלי למניעת מחלות מסכנות חיים. נקודת מפתח בכל דיון כזה חייבת להיות ההבחנה בין עריכת גנים בתאים סומטיים לעריכת גנים בתאי מין.

תקופת צינון של ניסויים בעריכת גנים של תאי המין בקרב קהילת המדענים תהיה דרך יעילה למנוע שינויים בתאי מין של בני אדם, ולהעלות את מודעות הציבור להבדל בין עריכת גנים בתאי מין לעריכת גנים בתאים סומטיים. אסור שהדאגות המובנות לגבי בטיחות עריכת גנים בתאי המין והשלכותיה האתיות יעכבו את ההתקדמות המשמעותית בפיתוח קליני של ריפוי מחלות קשות.

לא ברור איזה מידע להעביר להורים המשתתפים בניסוי שיבהיר מהם הסיכונים לצאצא שלהם



⁵ אנדונוקלאז: אנזים היוצר שברים במולקולות DNA. בתהליך עריכת גנים באמצעות מערכת ה-CRISPR/Cas9 מעורבים אנזימי אנדונוקלאז היוצרים שברים באופן מכוון בגן המיועד להחלפה. עלייה בריכוז אנדונוקלאזות גורמת ליצירת שברים באופן שאינו מכוון, כלומר באזורים אחרים בגנום שרצוי שלא יפגעו.

בשלב זה על קהילת המדענים להסכים מרצונה לא לבצע שינויים ב-DNA של תאי מין של אדם

מקורות

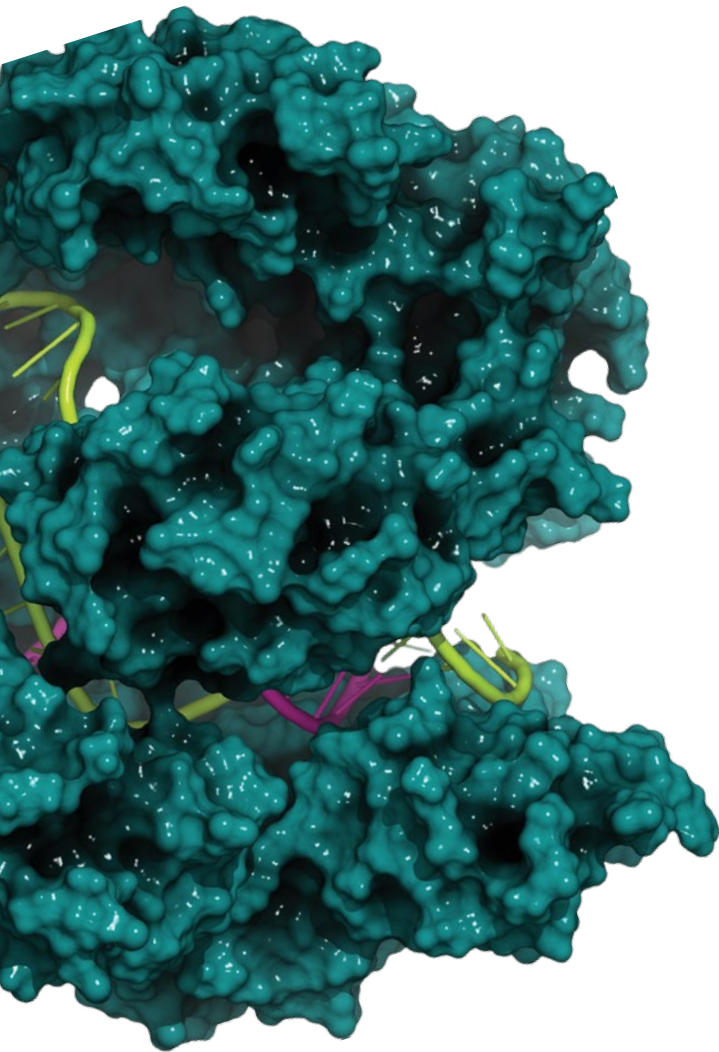
Carroll, D. (2014). Genome Engineering with Targetable Nucleases. Annu. Rev. Biochem 83, 409–439.

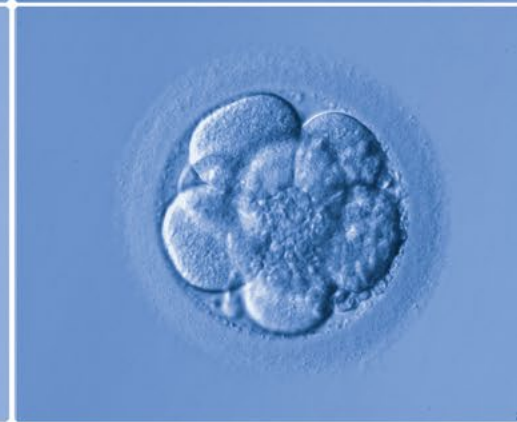
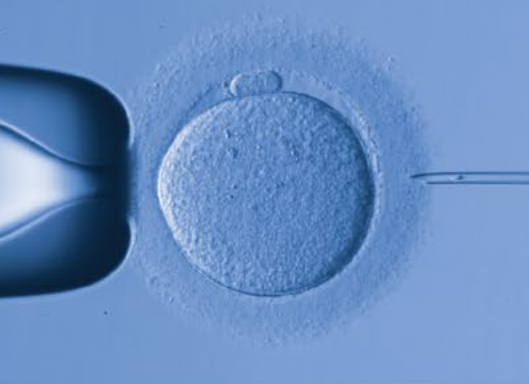
Geurts, A. M. (2009). Knockout Rats via Embryo Microinjection of Zinc-Finger Nucleases. Science 325, 433.

Liang, P., Xu, Y., Zhang, X., Ding, C., Huang, R., Zhang, Z., Lv Jie et al. (2015). CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes. Protein Cell 6(5), 363–372.

Kang, Q. et al. (2014). in Proc. 10th World Congr. Genet. Appl. Livestock Prod. <http://go.nature.com/6mtz2d>

פרסום המחקר הראשון בעריכת גנים בעוברי אדם (Liang et al., 2015) עורר סערה בקרב רבים בקהילה המדעית. כתבי העת היוקרתיים Nature ו-Science פרסמו תגובות של מדענים הקוראים למנוע המשך מחקרים מסוג זה (Lanphier et al., 2015; Baltimore et al., 2015). אנו (כותבי המאמר) חושבים שיש לפקפק בעמדה הנחרצת הזאת, שכן לדעתנו יש חובה מוסרית להמשיך במחקר מסוג זה.





ב. החובה המוסרית להמשיך את המחקר על עריכת גנים בעוברי אדם

עיבוד על פי מאמר הדעה⁵:

Julian Savulescu, Jonathan Pugh, Thomas Douglas, Christopher Gyngell (2015). The moral imperative to continue gene editing research on human embryos. *Protein Cell* 6(7), 476–479.

החדשות הן בעלות השפעה בלתי צפויה על הדורות הבאים: מרשתת (אינטרנט) וטלפונים ניידים שינו את הדרך שבה אנשים מתקשרים ביניהם, לטוב ולרע. קשה לנבא את השפעתם בדורות הבאים, ואף על פי שהם יכולים להיות הרסניים (כמו טרור באמצעות האינטרנט⁶) אין זה אומר שיש להחרים אותם, שכן תועלתם עולה על פגיעתם האפשרית.

דוגמה אחרת היא הפריה חוץ-גופית ואבחון טרום השרשתי, שבהם מוציאים שני תאים מעובר בן שמונה תאים כדי לבצע בהם אנליזה גנטית. פעולה כזאת הייתה עלולה לפגוע בדורות הבאים, אולם מחקרים שבדקו את השפעתה הראו שאין זה כך, וכיום השיטה מקובלת ונפוצה.

סיבה נוספת להפסקת המחקר בעוברי אדם לפי חלק מהמדענים היא מדרון תלול העלול להתרחש בשימוש בשיטה למטרות השבחה גנטית ותכנון תינוקות בהזמנה, שאינן מטרות טיפוליות. אולם העובדה ששיטה מסוימת תשמש למטרות לא טיפוליות לא יכולה להיות סיבה שלא להשתמש בה למטרות טיפוליות. לדוגמה, הפריה חוץ-גופית ואבחון טרום השרשתי יכולים להיות מנוצלים אף הם למטרות של השבחה גנטית, אם ייבחרו עוברים בעלי תכונות מסוימות של גובה או אינטליגנציה. אין בכך סיבה לאסור את השימוש בשיטות אלה למטרות טיפוליות בעקרות. במקום לאסור את המחקר הנוגע לשיטות עריכת גנים בעוברי אדם יש לאסור את השימוש הבלתי ראוי בהן.

הסיבה האתית המשמעותית ביותר של המתנגדים לניסויים בעריכת גנים בעוברי אדם היא שבטיחות השיטה עדיין לא הוכחה מעל לכל ספק, ולכן אין להשתמש בה בתהליך המסתיים בלידה. זאת משום שכאשר מעלים את ריכוז הנוקלאזות חלים שברים במקומות נוספים בגנום ולא רק בגן המטרה. אף על פי שיש שיטות המאפשרות להפחית את מספר השברים הבלתי

לעריכת גנים יש פוטנציאל אדיר לריפוי מחלות. בכ-6% מכלל הלידות בעולם נולדים תינוקות עם פגמים קשים, גנטיים או גנטיים באופן חלקי (Christianson et al., 2006). עריכת גנים יכולה לטפל בפגמים מולדים ולשפר את חייהם של כשמונה מיליון ילדים מדי שנה. נוסף על כך, 35% מכל מקרי המוות מתחת לגיל שבעים מתרחשים עקב מחלות כרוניות, כמו סרטן וסוכרת. עריכת גנים יכולה להפחית את מקרי המוות ולהיטיב את חייהם של מיליארדי אנשים בכל העולם. המשמעות של מניעת מחקר מציל חיים היא אחריות מוסרית למותם הצפוי של כל אלה שיכולים להרוויח משימוש בשיטת הריפוי הנחקרת. מחקר בעריכת גנים אינו אפשרות, הוא צורך מוסרי.

יש הטוענים שהפריית מבחנה, שבה אפשר ליצור מגוון של עוברים ולבצע בהם אבחון טרום השרשתי לפני ההחזרה לרחם, או אבחון טרום לידתי של העובר והפסקת היריון במקרה הצורך - הן שיטות העדיפות על פני עריכת גנים בעוברים. אולם שיטות אלה מתאימות למחלות מנדליות, שמעורב בהן מיעוט של גנים, כמו מחלת הנטינגטון, סיסטיק פיברוזיס ותלסמיה. על מנת למנוע מחלות רב-גניות כמו סכיזופרניה יש צורך במספר עוברים

כל הטכנולוגיות החדשות הן בעלות השפעה בלתי צפויה על הדורות הבאים

רב שיגדיל את הסיכוי למצוא עובר תקין. אולם מספר העוברים שאפשר ליצור בהפריה חוץ-גופית הוא מוגבל, והגדלת מספר העוברים עלולה להיות מסוכנת לאישה. כמו כן, מאחר שמדובר בגנים רבים, הרקע הגנטי של ההורים עצמם עלול להגביל את כמות העוברים התקינים שלהם, כך שזוג הורים עלול לייצר רק עוברים בעלי סיכוי גבוה לחלות.

יש מדענים הקוראים לתקופת צינון של המחקר בעריכת גנים על עוברי אדם, בטענה שאין לדעת את ההשפעה שתהיה לכך על הדורות הבאים (Lanphier et al., 2015). אלא שסיבה זאת מתאימה לשיטות רבות המקובלות כיום: כמעט כל הטכנולוגיות

⁵ הגרסה המובאת כאן היא סקירה של תוכני המאמר המקורי, שנועדה להנגיש את המידע לציבור המורים לביולוגיה ולמדעי הסביבה. העיבוד כלל הוספת הסברים לתכנים מורכבים, סינון מידע שאינו נקשר לרעיון המרכזי של הגרסה המעובדת, הגדרת מונחים מקצועיים, ובמידת האפשר קישור הדברים לתהליכי למידה והוראה. המעוניינים לקרוא את המאמר המקורי מוזמנים לפנות למקור המובא בתחילת הגרסה המעובדת.

אמנם המחקר מעלה שאלות אתיות, ואולם ההכרעה האתית צריכה להוביל לחקיקה מתאימה

ספציפיים (Iyer et al., 2015), אין זה אתי להביא עוברי אדם לאחר עריכת גנים לשלב של לידה, אלא אם כן אנו בטוחים שהשיטה בטוחה לחלוטין.

אולם טיעון כזה אינו מצדיק השהיה של המחקר. קיימת הסכמה כלל-עולמית שאין לבצע ניסויים בבני אדם כאשר קיים סיכוי גבוה לנזק למשתתפים בהם. נוסף על כך, המחקר שהתפרסם על עוברי אדם הביא בעצמו נתונים בעייתיים על איכות עריכת הגנים שהתקבלה בעוברים אלה, ומציע דרכים לבדוק את הפתרונות לבעיות אלה במחקרים נוספים. המחקר בוצע בזיגויות פוליטפרמיות שבהן שלושה גרעיני תאים: האחד גרעין הביצית, והשניים האחרים הם גרעינים של תאי זרע. זיגויות פוליטפרמיות כאלה מתקבלות באופן טבעי ב-2-5 אחוזים מהפריות המבחנה, ובאופן נורמלי התפתחותן נפסקת ברחם האישה והן אינן מתפתחות לתינוק. כלומר, זיגויות פוליטפרמיות אינן מתאימות להחזרה לרחם. מכיוון שכך, לא ברור כיצד המחקר יכול לגרום למישהו נזק ישיר. למעשה, מחקר זה חשוב בדיוק משום שהוא מגביר את הבנתנו ביחס לחלק מהסיכונים המעורבים בשיטה של עריכת גנים בבני אדם כפי שהיא מבוצעת כיום, שכן אחת ממטרות המחקר הייתה לבדוק את תדירות המוטציות המתרחשות במקומות לא רצויים בגנום. מידע זה חיוני לקידום שיטות עריכת גנים למטרות ריפוי.

החוקרים ציינו במפורש שהעוברים הושמדו לאחר הניסוי. יש הטוענים שהשמדת עוברי אדם היא בעייתית, ורואים בעוברים בעלי זכויות משום הפוטנציאל שיש להם להתפתח לבני אדם. אבל השמדת עוברי האדם שנעשתה במחקר המדובר הרבה פחות בעייתית, משום שלעוברים פוליטפרמיים אין פוטנציאל להתפתח לבני אדם. השמדת עוברי אדם בניסויים הנערכים למטרות מחקר אחרות, כמו מחקר על תאי גזע עובריים המותר במדינות רבות, היא בעייתית הרבה יותר.

חשש נוסף שעלה הוא שבמחקרים על עוברי אדם עלולים לייצר עוברים באופן מכוון למטרות מחקר. אולם הזיגויות ששימשו במחקר המדובר לא נוצרו למטרות מחקר, אלא היו תוצר לוואי המתקבל באופן שגרתי ולא מכוון בהפריה חוץ-גופית. מבחינתנו, אין להבדיל מוסרית בין עוברים שנוצרו למטרות מחקר לבין עוברים שלא נוצרו למטרות אלה. אולם אין צורך לקבל את דעתנו כדי להבין שהשמדת זיגויות פוליטפרמיות מקובלת מבחינה מוסרית, אף אם רואים בעוברים ישות בעלת זכויות, ודוגלים באיסור יצירת עוברי אדם למטרות מחקר. אם

במקום לאסור את המחקר הנוגע לשיטות עריכת גנים בעוברי אדם יש לאסור את השימוש הבלתי ראוי בהן

מסכימים לעיקרון זה, הרי גם עוברים שנמצאו לא מתאימים להשתלה ברחם בשל סיסטיק פיברוזיס או תלסמיה, האמורים לעבור השמדה בכל מקרה, ראויים לשמש למחקר עריכת הגנים.

באופן פרדוקסלי, דווקא עריכת גנים יכולה לגרום לכך שיושמדו הרבה פחות עוברים שנוצרו למטרות פוריות. כיום, הורים המעוניינים להביא לעולם ילד אך נושאים שניהם מחלה גנטית מסוימת פונים לתהליך של הפריה חוץ-גופית ואבחון טרום השרשתי. בתהליך כזה נוצרים הרבה עוברים שרק חלקם (אלה שיימצאו ללא המוטציה) יוחזרו לרחם, ואילו השאר - יושמדו. לעומת זאת, אם עריכת גנים בעוברים תתקבל ותוכח כבטוחה ויעילה, יהיה צורך במספר קטן יותר של עוברים.

נכון לעכשיו, הסיבות לבצע מחקרים בעריכת גנים עולות על הסיבות להתנגד למחקרים אלה. על המתנגדים למחקר זה להסביר מדוע לדעתם טכנולוגיה כזאת מצריכה יחס אחר לעומת טכנולוגיות מקובלות אחרות ושיטות מקובלות להגברת פוריות. יתרה מזו, עליהם להסביר במה הסיכונים הצפויים עולים על היתרונות, ומדוע אי אפשר לטפל בסיכונים באמצעות חקיקה מתאימה.

קיימות סיבות אתיות ברורות מדוע להתיר מחקר בעריכת גנים. שיטות מתקדמות לעריכת גנים יכולות להפחית מחלות גנטיות ולהיטיב עם מיליוני אנשים ברחבי העולם. מחקר מסוג זה הוא חובה מוסרית. אמנם הוא מעלה שאלות אתיות, ואולם ההכרעה האתית צריכה להוביל לחקיקה מתאימה שתמנע ניצול לרעה ושימוש בטרם עת בטכנולוגיה המבטיחה של עריכת גנים.



Baltimore, B.D., Berg, P., Botchan, M., Carroll, D., Charo, R.A., Church, G., Corn, J.E. et al. (2015). Biotechnology. A prudent path forward for genomic engineering and germline gene modification. *Science* 348, 36–38.

Christianson, A.L., Howson, C.P., Modell, B. (2006). March of Dimes global report on birth defects. The March of Dimes Birth Defects Foundation, White Plains.

Lanphier, E., Urnov, F., Haecker, S.E., Werner, M., Smolenski, J. (2015). Don't edit the human germ line. *Nature* 519, 410–411.

Liang, P., Xu, Y., Zhang, X., Ding, C., Huang, R., Zhang, Z., Lv, Jie et al. (2015). CRISPR/Cas9-mediated gene editing in human tripronuclear zygotes. *Protein Cell* 6(5), 363–372.

