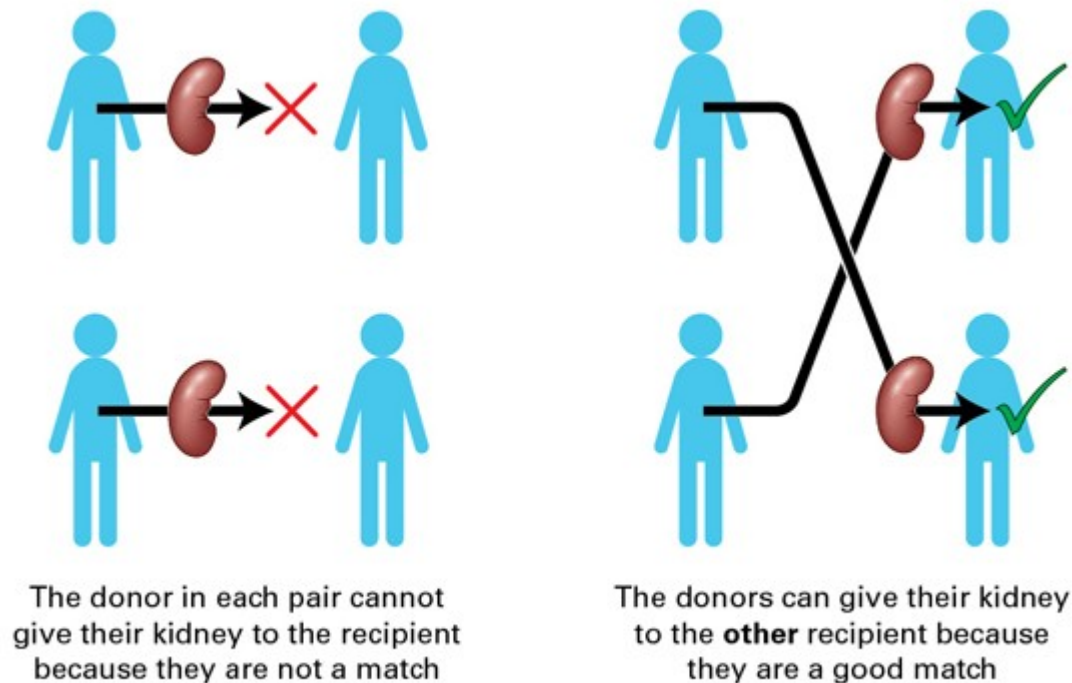


החלפת כליות

אראל סגל-הלוי

חלק מהשקפים של: Wayne Racey

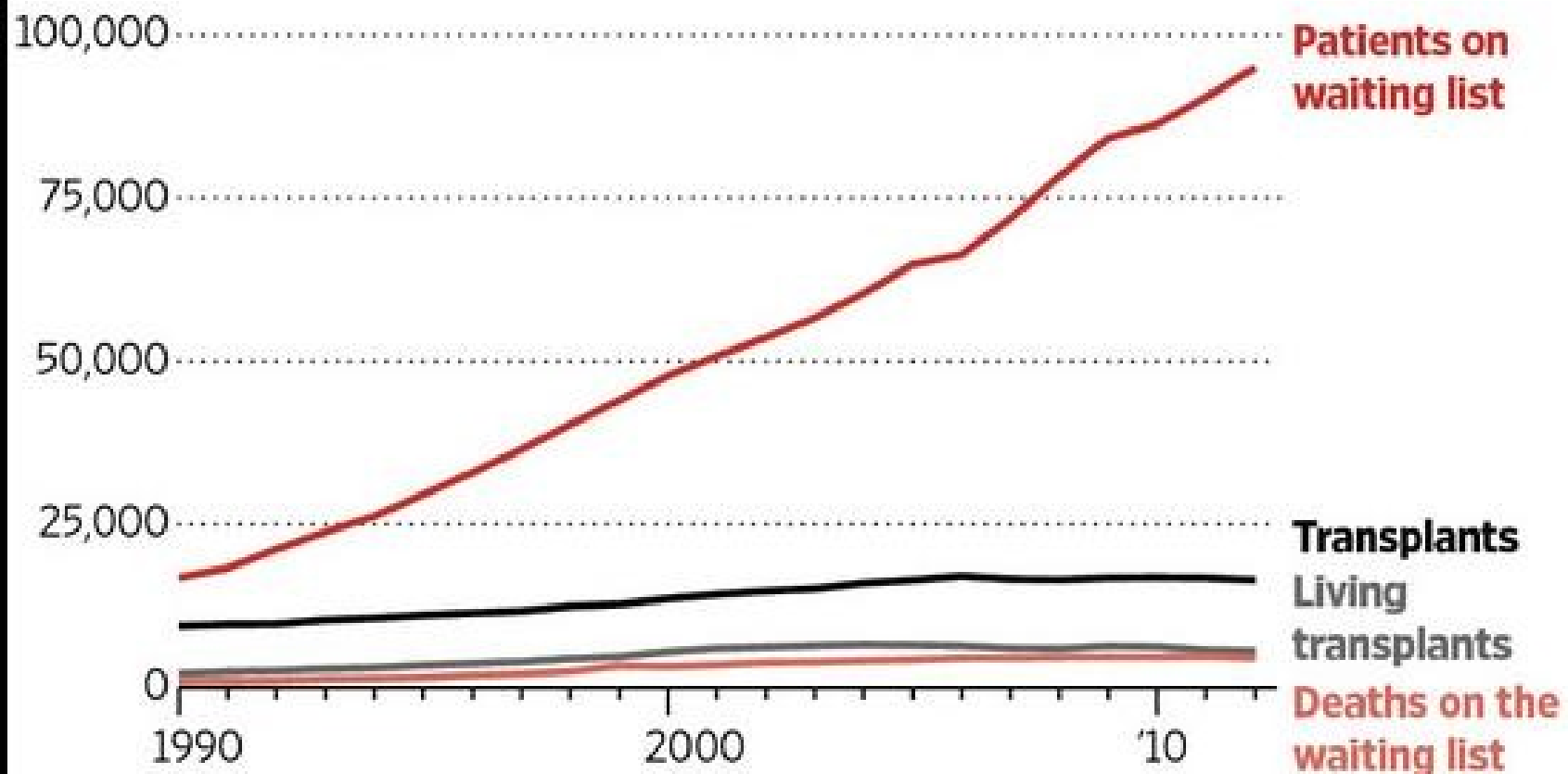


© UHN Patient Education

התור להשתלת כליות

A Long Wait for a Kidney

Since 1990, the number of people on the waiting list for a kidney transplant has grown sharply, while the number of transplants has increased only slightly.



Source: The Organ Procurement and Transplantation Network

The Wall Street Journal

החלפת כליות

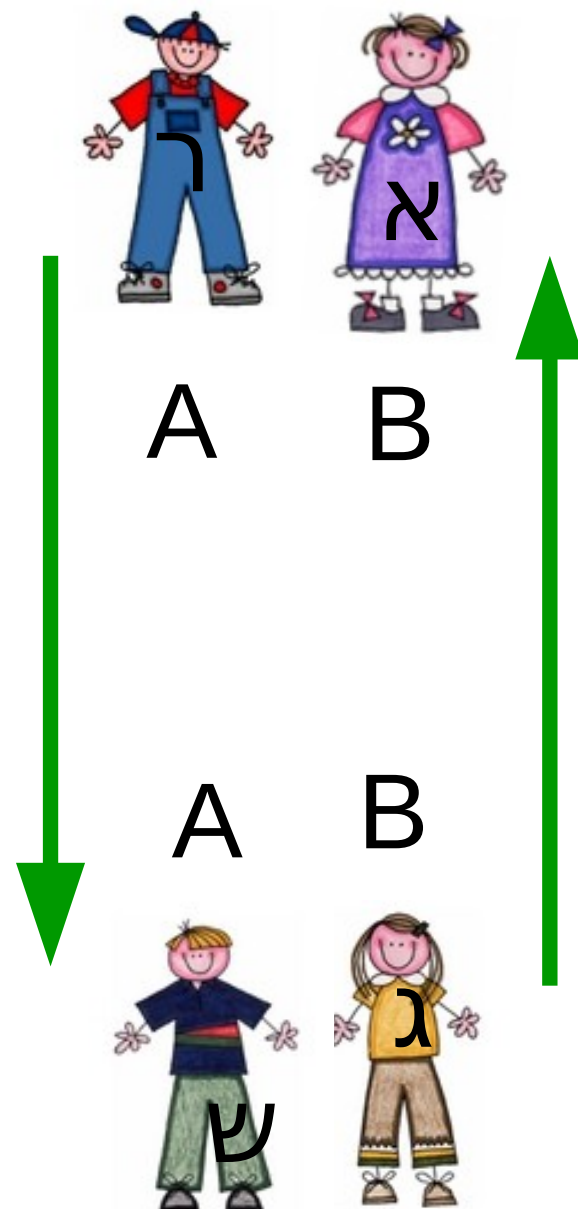
כמעט בכל המדינות:

- יש מחסור בכליות להשתלה.
- אסור לתרום כליות תמורת כסף.
- מותר לתרום כליה תמורת כליה.

למה להחליף כליות?

תורם מוכן לתרום לחולה
אבל לא מתאים, בגלל סוג
הדם או סיבות נוספות:

> נתרם תורם V	O	A	B	AB
O	כן	כן	כן	כן
A	לא	כן	לא	כן
B	לא	לא	כן	כן
AB	לא	לא	לא	כן



החלפת כליות 2004 - מעגלי מסחר

Kidney Swapping | Newsweek Health | Newsweek.com - Mozilla Firefox

File Edit View History Bookmarks Tools Help

http://www.newsweek.com/id/49389?tid=relatedcl



xchange

Coursework 5 : W09-ECON-285-01 : M...

Unraveling.pdf (application/pdf Object)

Kidney Swapping | Newsweek He...

ADVERTISEMENT



University of Phoenix

I Am A PHOENIX CLASS OF 2008

LEARN MORE ABOUT BECOMING A PHOENIX

CLICK HERE

HOME

THE MAGAZINE

INTERNATIONAL EDITION

msnbc

LOGIN / REGISTER

SUBSCRIBE TO NEWSWEEK
Only \$40 a year

Newsweek

SEARCH SITE

WEB

NEWS

POLITICS

TECH / BUSINESS

CULTURE / IDEAS

HEALTH

VOICES

SITE GUIDE

SUBSCRIBE NOW

Health for Life

By The Numbers

Key Healthcare Issues



VIDEO SATIRE

'The District'

Episode 8: OMG! Everyone's PO'd at AIG



CULTURE

- The Reluctant Rock Star
- Meeting Your Teen Idols
- Photos: Grunge Gone By



OH SLATE.COM

- The Locavore's Dilemma
- My Own Private B.O.
- Worst. Tournament. Ever.

Kidney Swapping

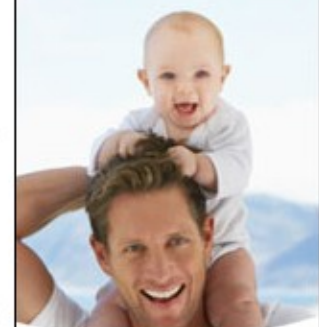
CREATING A NATIONAL EXCHANGE PROGRAM TO CONNECT PAIRS OF DONORS/RECIPIENTS COULD HELP THOSE MOST IN NEED.

By Vanessa Juarez | Newsweek Web Exclusive

Apr 26, 2005

ADVERTISEMENT

Pay Less for
Term Life Insurance



Recommended (6)

- Organ Trafficking Is No Myth
- Jerry Adler: Are Kidneys a Commodity?

See All

Topics (2)

- Kendall Wyman
- Robert Montgomery

See All

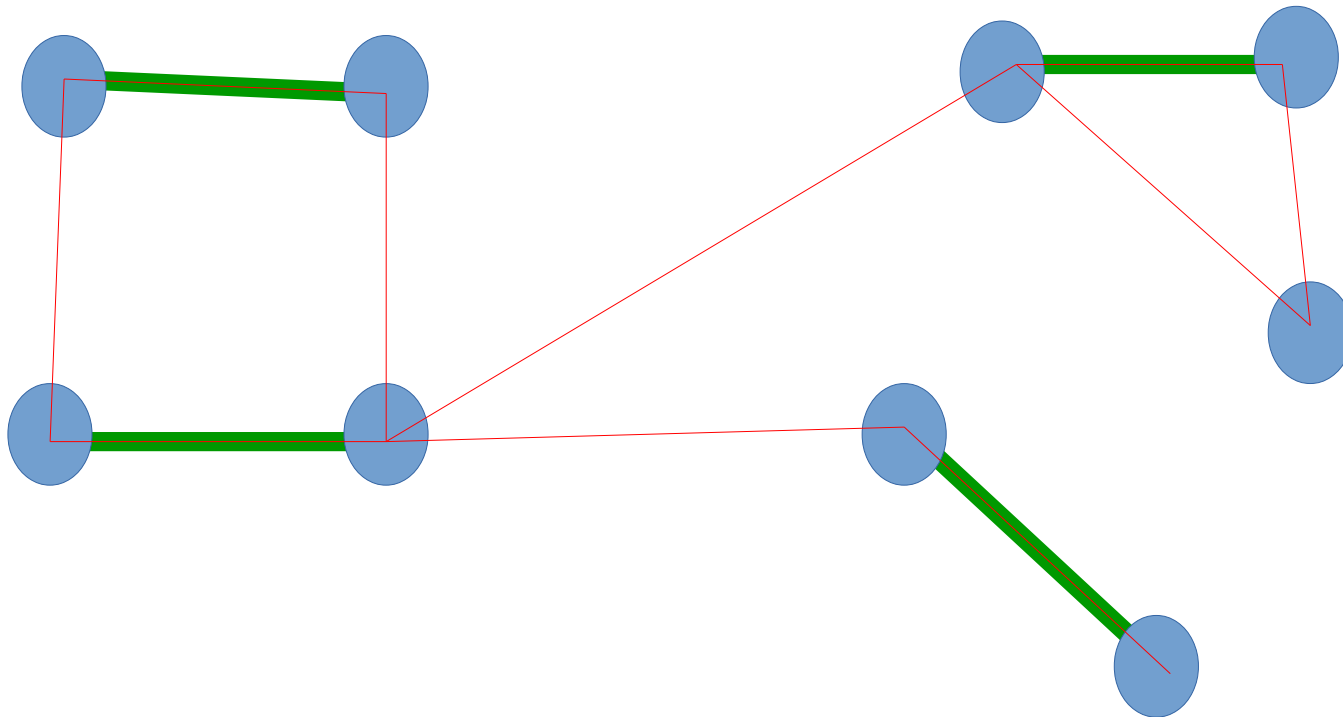
החלפת כליות 2005 - שידוכי מסחר

- אלגוריתם מעגלי המסחר לא התאים לבעיה:
- המעגלים ארוכים מדי! בהחלפת כליות מעדיפים מעגלים קצרים – באורך 2 או 3 – כי כל ההשתלות במעגל חייבות להתבצע במקביל.
- מצד שני, בהחלפת כליות ההעדפות בינאריות – כל חולה מוכן לקבל כליה מכל תורם מתאים.

הפתרון: במקום לחפש מעגלים,
נחפש שידוכים.

מציאת שידוך גדול ביותר

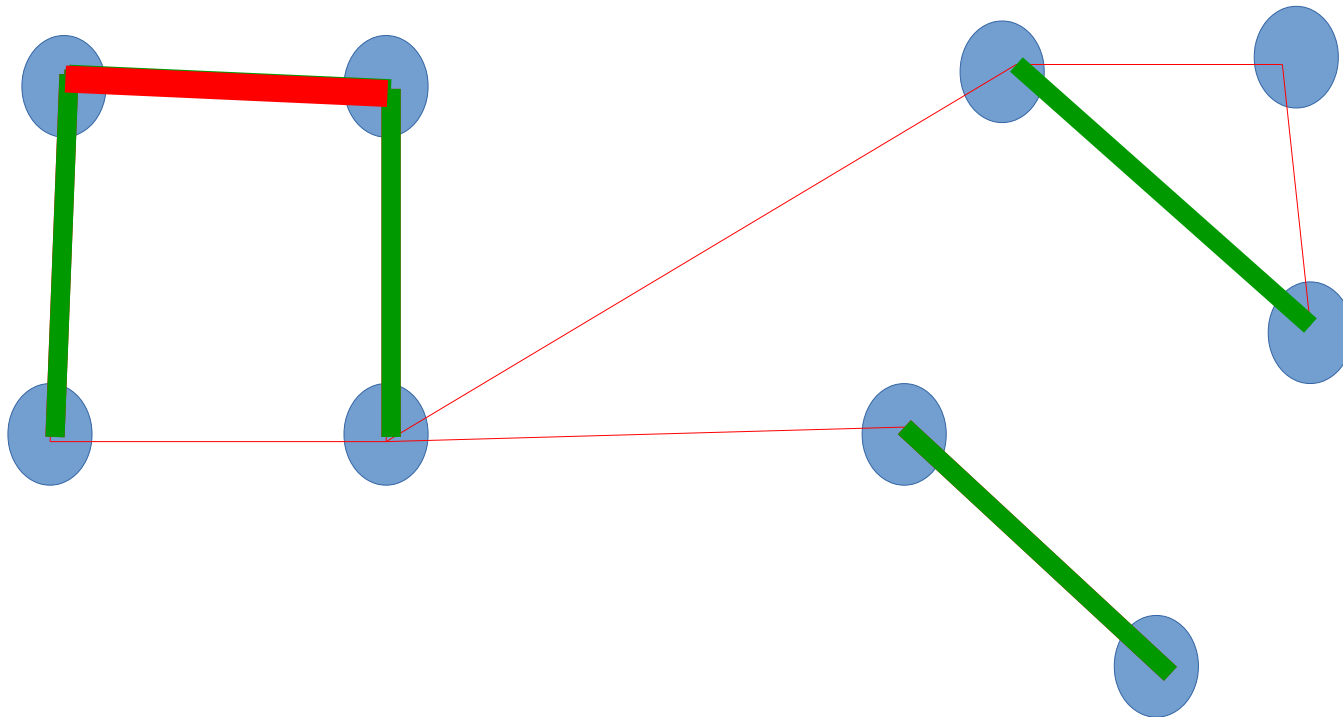
שידוך בגרף כללי = אוסף של זוגות-צמתים זרים.
כל צומת מייצג זוג; כל קשת מייצגת התאמה הדדית.
כדי להציל הכי הרבה חולים, נרצה למצוא
שידוך גדול ביותר.



אלגוריתם למציאת שידוך גדול ביותר

מסלול שיפור = מתחיל ומסתיים בצמתים לא משודכים, ומתחלף אדום-ירוק-אדום....-ירוק-אדום.

כל עוד יש מסלול-שיפור:
הפוך אותו (ירוק לאדום ואדום לירוק).



הלמה של ברג' (Berge's Lemma)

- שידוך M מקסימלי אם-ורק-אם אין מסלול שיפור.
הוכחה: \Rightarrow : אם יש מסלול שיפור – אפשר להפוך אותו וכך להגדיל את M ב-1, ולכן M לא מקסימלי.
 \Rightarrow : נניח ש- M לא מקסימלי. יהי N שידוך גדול יותר מ- M . נסתכל על ההפרש הסימטרי – כל הקשתות הנמצאות באחד השידוכים ולא בשניהם. כל צומת בגרף סמוך לכל היותר לקשת אחת מכל שידוך. לכן, רכיבי הקשירות בגרף ההפרש הם:
- א. צמתים מבודדים, או -
 - ב. מעגלים מתחלפים (חייבים להיות באורך זוגי ועם מספר זהה של קשתות משני השידוכים), או -
 - ג. מסלולים מתחלפים.

הלמה של ברג' (Berge's Lemma)

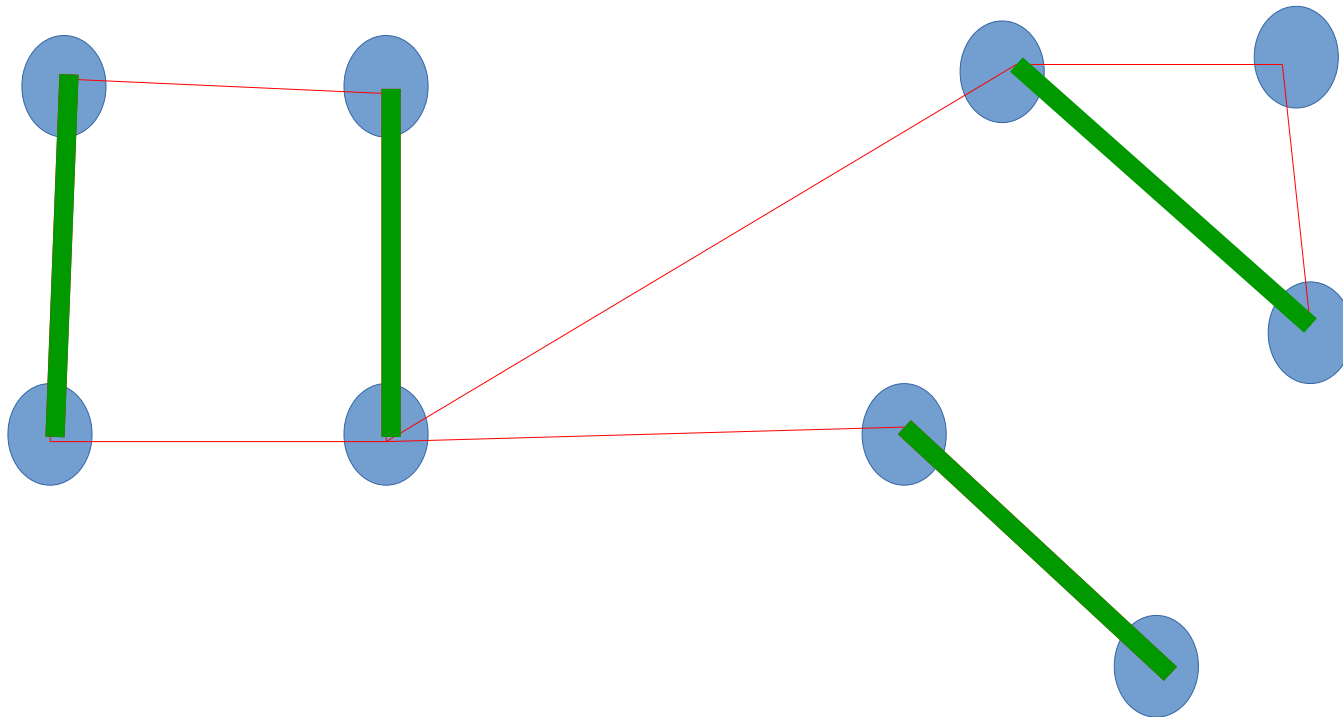
שידוך M מקסימלי אם-ורק-אם אין מסלול שיפור.

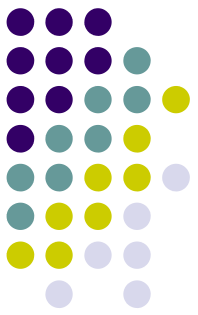
הוכחת \rightarrow (המשך):

הנחנו ש- N גדול יותר מ- M . לכן, לפי כלל שובך היונים, רכיב אחד לפחות חייב לכלול יותר קשתות של N מקשתות של M . הרכיב הזה חייב להיות מסלול מתחלף, שבו הקשת הראשונה והקשת האחרונה הן ב- N ולא ב- M . זה מסלול שיפור! ***

אלגוריתם הפרחים (Blossom Algorithm, Edmonds Algorithm)

- איך מוצאים מסלול שיפור?
- - בעזרת אלגוריתם הפרחים – פותח ע"י אדמונדס ב-1965. זמן ריצה: $O(|V|^2 |E|)$.
- נלמד בקורס מתקדם בתורת הגרפים.





החלפת כליות בישראל

תוכנית החלפת כליות בישראל:

https://www.health.gov.il/Subjects/Organ_transplant/live_donors/Pages/intersection_plan.aspx

החלפת כליות בין ישראל לצ'כיה:

<https://www.ynet.co.il/articles/0,7340,L-5643924,00.html>

אלגוריתם אמיתי לשידוך כליות?

מי הם השחקנים בבעיית שידוך הכליות?

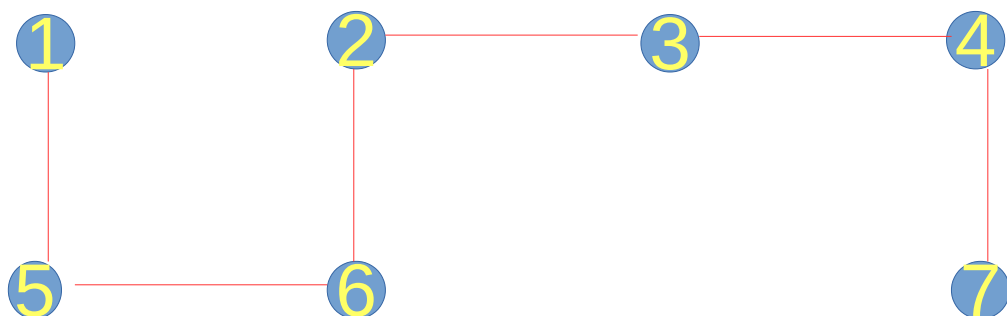
- **הזוגות** – יכולים לכל היותר להסתיר קשתות, אבל זה לא יעזור להם.
- **המרכזים הרפואיים** – יכולים להסתיר זוגות - לשדך אותם באופן פנימי.
- **האינטרס של המרכזים הרפואיים הוא לדאוג לחולים "שלהם" - שכמה שיותר חולים שלהם יקבלו כליה.**

תמריצים של מרכזים רפואיים

משפט: אין אלגוריתם שהוא גם יעיל פארטו וגם אמיתי עבור המרכזים הרפואיים.

הוכחה: נניח בשלילה שקיים אלגוריתם כזה. נראה מצב שבו, לכל שידוך שהאלגוריתם בוחר, קיים מרכז שיכול להסתיר זוגות, וכך להגדיל את מספר החולים "שלו" שמקבלים כליה. <--

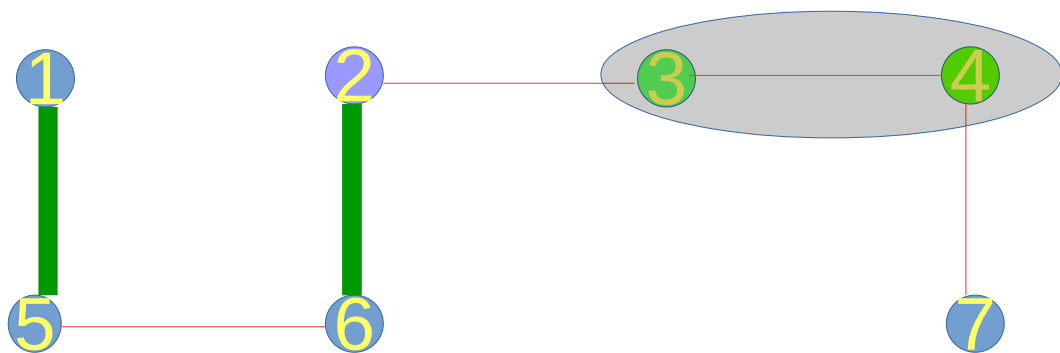
תמריצים של מרכזים רפואיים – הוכחה



רמב"ם

הדסה

נניח שהמצב
האמיתי הוא כזה,
שכל שידוך משאיר
לפחות חולה אחד
בלי כליה:

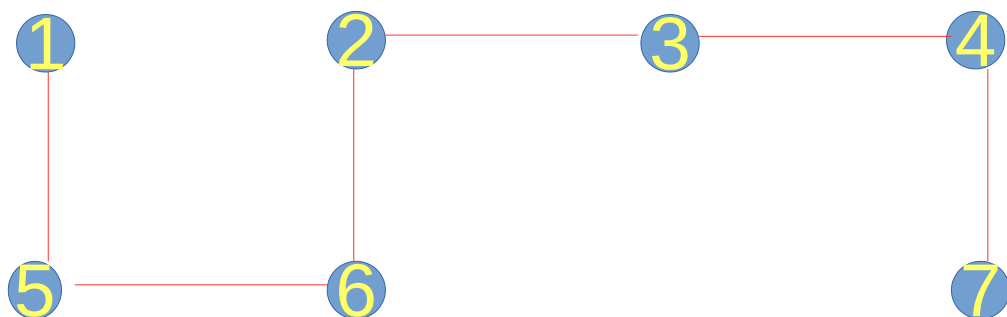


רמב"ם

הדסה

אם רמב"ם מסתיר
שני זוגות ומשדך
אותם אצלו, אז יש
רק שידוך
יעיל-פארטו אחד,
ובו כל 4 החולים של
רמב"ם מקבלים
כליה:

תמריצים של מרכזים רפואיים – הוכחה

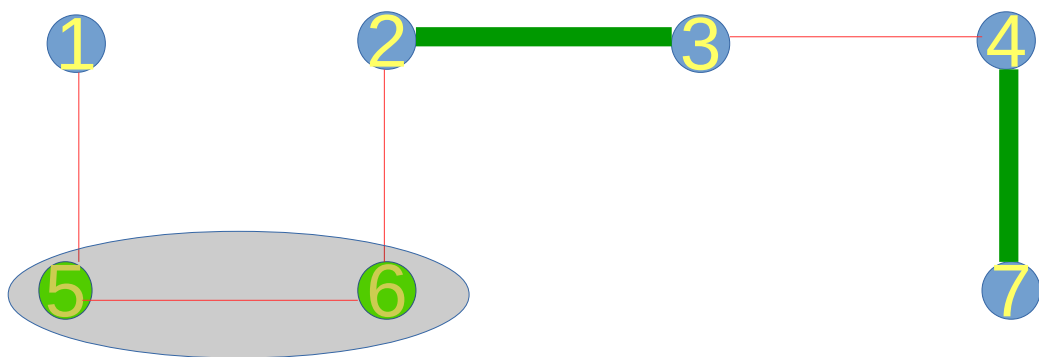


רמב"ם

הדסה

נניח שהמצב
האמיתי הוא כזה,
שכל שידוך משאיר
לפחות חולה אחד
בלי כליה:

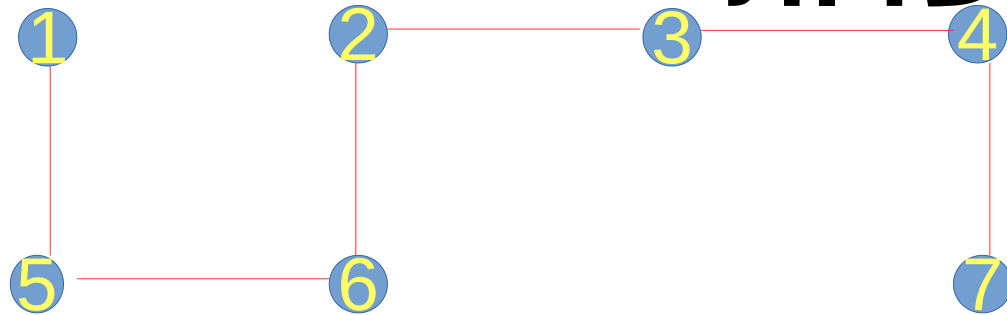
אם הדסה
מסתירה שני זוגות
ומשדכת אותם
אצלה, אז יש רק
שידוך יעיל-פארטו
אחד, ובו כל 3
החולים של הדסה
מקבלים כליה:



רמב"ם

הדסה

תמריצים של מרכזים רפואיים – אי-אפשרות



רמב"ם

הדסה

לכן, לכל שידוך

שהאלגוריתם

בוחר, אחד

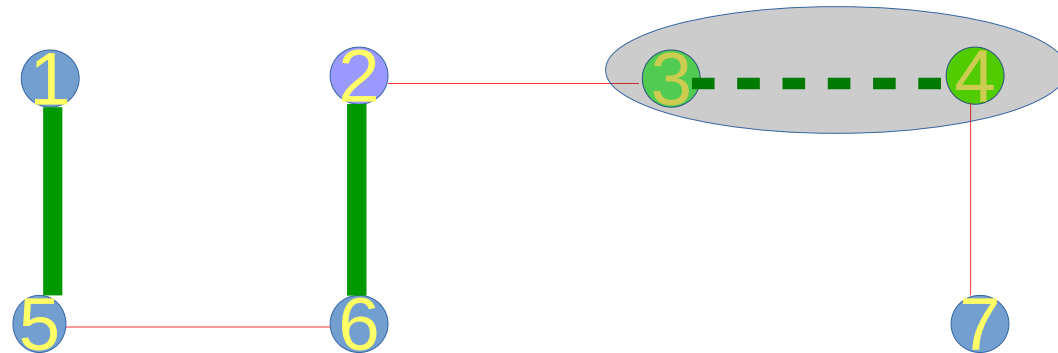
המרכזים יכול

להסתיר זוגות וכך

"להכריח" את

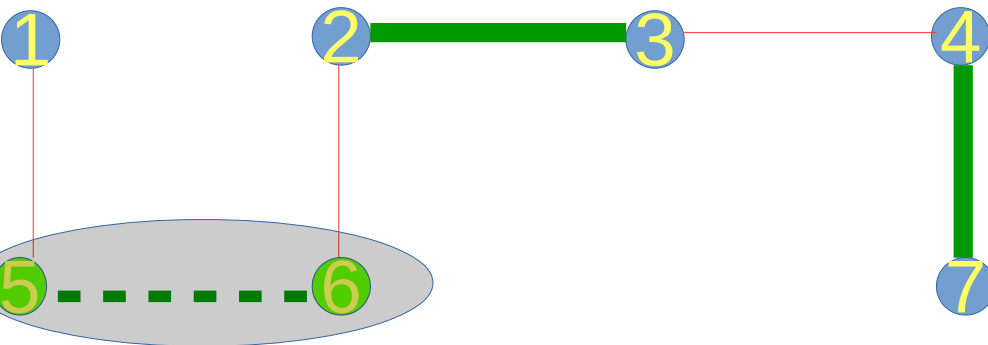
האלגוריתם לבחור

שידוך עדיף עבורו.



רמב"ם

הדסה



רמב"ם

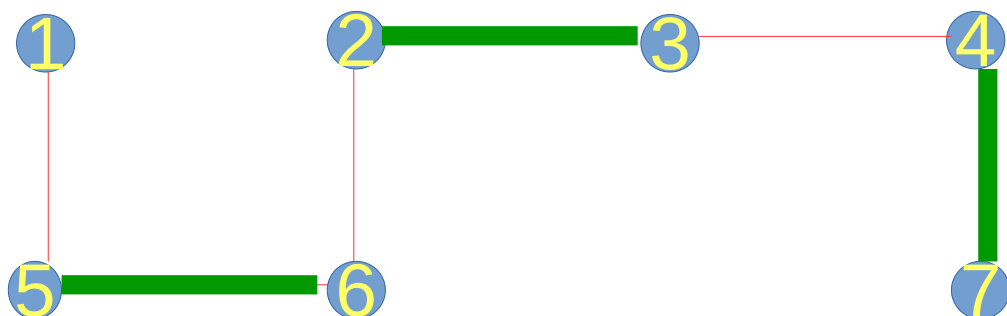
הדסה

תמריצים של מרכזים רפואיים – קירוב 1/2

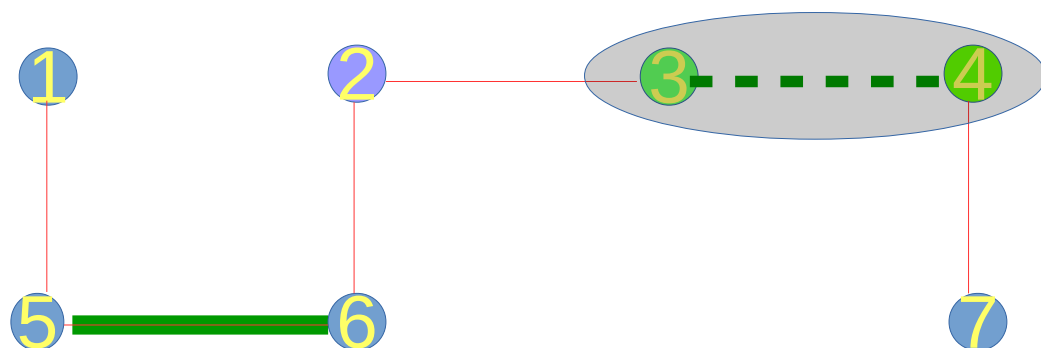
כיוון שאין אלגוריתם אמיתי המשיג את השידוך הגדול ביותר, חיפשו אלגוריתם אמיתי המשיג שידוך שהוא גדול-ביותר-בקירוב.

- האלגוריתם (אשלגי, פישר, קאש, פרוקצ'יה, 2013):
- מחשבים, עבור כל מרכז רפואי, את המספר הגדול ביותר של קשתות בשידוך פנימי.
 - מחשבים את השידוך הגדול ביותר מבין כל השידוכים עם אותו מספר של קשתות פנימיות.

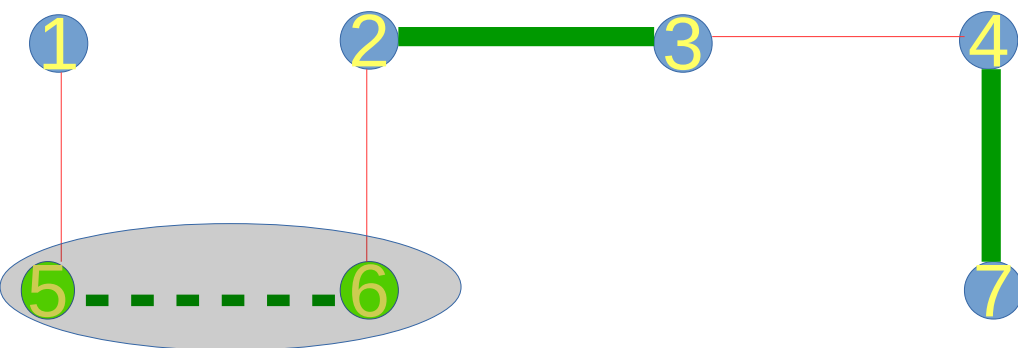
קירוב 1/2 - דוגמאות



מצב אמיתי:
האלגוריתם בוחר
שידוך מקסימלי.
רמב"ם
הדסה



הסתרה ברמב"ם.
האלגוריתם בוחר
שידוך קטן פי 2
מהמקסימלי;
רמב"ם לא מרויח.
רמב"ם
הדסה



הסתרה בהדסה:
הדסה לא
מרויחה.
רמב"ם
הדסה

קירוב $1/2$ - הוכחה

משפט: אלגוריתם אשלג-פישר-קאש-פרוקצ'יה מחזיר תמיד שידוך שגודלו לפחות $1/2$ מהשידוך הגדול ביותר האפשרי.

הוכחה: נניח שהשידוך הגדול ביותר כולל n קשתות ($2n$ צמתים). **מכל קשת, לפחות צומת אחד נמצא בשידוך של האלגוריתם – אחרת האלגוריתם היה יכול להוסיף את הקשת ולהשיג שידוך גדול יותר.** לכן השידוך של האלגוריתם כולל לפחות n צמתים. ***

מעבר לזוגות – מעגלי-החלפה באורך 3

- כיום אפשר לבצע שלושה ניתוחי השתלה בזמנית - החלפת כליות במעגלים באורך 3.
- איך מוצאים הכי הרבה מעגלים באורך 3?
- הבעיה היא NP-קשה! יש רדוקציה:
 - $NP \rightarrow SAT \rightarrow 3\text{-coloring} \rightarrow$
 $Set\ cover \rightarrow 3D\ matching \rightarrow 3\text{-Circles}$
 - מה עושים?
 - א. אלגוריתמי קירוב;
 - ב. חיפוש היוריסטי.

מעבר לזוגות – שרשראות-החלפה מתחילות בתורם אחד חסיד (אלטרואיסט)



- In July 2007, Alliance for paired donations started an “Altruistic Donor Chain”
- Altruistic donor in Michigan donated kidney to woman in Phoenix.
- Husband of Phoenix woman gave kidney to woman in Toledo.
- Her mom gave kidney to patient A in Columbus, whose daughter simultaneously gave kidney to patient B in Columbus.
- And so on....

שרשרת החלפה באורך 60

