

# המלצות להפחתה בחשיפה לקרינה ממיפוי לב

מסמך עמדה משותף מטעם:  
האיגוד הקרדיולוגי בישראל  
והאיגוד לרפואה גרעינית בישראל



האיגוד הקרדיולוגי בישראל  
ISRAEL HEART SOCIETY



ינואר 2011



ההסתדרות הרפואית בישראל

המועצה המדעית • האגף לאבטחת איכות

161	.....	מבוא
161	.....	מושגים שימושיים בכימות הקרינה
162	.....	עקרונות הכרחיים להבנת החשיפה בקרינה
163	.....	סיכון לעומת תועלת בביצוע בדיקה הכרוכה בקרינה
		המלצות להפחתה בחשיפה לקרינה בביצוע מיפוי לב:
163	.....	1. התאמה מיטבית של הבדיקה לנבדק
165	.....	2. ביצוע מיפוי עם הפחתה מרבית של כמות הקרינה
167	.....	3. אמצעים טכנולוגיים להפחתת קרינה – שיטות איסוף נתוני התמונה ומצלמות שונות
169	.....	סיכום
170	.....	טבלה 1:
171	.....	טבלה 2:
172	.....	טבלה 3:
172	.....	טבלה 4:
173	.....	רשימת הספרות

## הוועדה להמלצות להפחתה בחשיפה לקרינה ממפוי לב

פרופ' נילי צפרייר – יו"ר הוועדה, האיגוד הקרדיולוגי בישראל

חברי הוועדה (לפי סדר א-ב)

ד"ר אריק וולק – האיגוד הקרדיולוגי בישראל

ד"ר שי ליפשיץ – האיגוד הקרדיולוגי בישראל

ד"ר זהר קידר – האיגוד לרפואה גרעינית בישראל

פרופ' פייר שורקי – האיגוד הקרדיולוגי בישראל והאיגוד לרפואה גרעינית בישראל

במהלך רבע המאה האחרונה חלה עליה מהירה בשימוש בבדיקות CT ורפואה גרעינית וכתוצאה מכך גם עליה מתמדת בחשיפה לקרינה הקשורה לבדיקות אלו. יתרה מזאת, חלק לא מבוטל מבדיקות אלו מבוצע בילדים. בנוסף קימת עליה בכמות בדיקות סקירה (screening) לאנשים ללא תסמינים על אף שיעילותה של גישה זו אינה מוכחת.

לאור נתונים אלו עולה חשש שעליה גוברת בחשיפה לקרינה של האוכלוסייה בהווה עשויה להוות בעיה בבריאות הציבור בעתיד.

בעיית החשיפה לקרינה באה לידי ביטוי בין היתר בבדיקות לב אבחנתיות הכוללות: מיפויי לב עם שימוש בחומרים רדיואקטיביים, CT לבבי, צנתור כלילי ובדיקות אלקטרופיזיולוגיות. לפיכך החולה הלבבי מבצע במהלך חייו מספר לא מבוטל של בדיקות החושפות אותו לקרינה מצטברת.

עבודות רבות דנו במשמעות של חשיפה לקרינה רפואית אבחונתית וכיום ישנן שתי גישות מובילות. האחת, המקובלת יותר, מחמירה בחשיבות הנזק וטוענת לסיכון להיארעות עתידית של סרטן, מכל חשיפה לקרינה ואפילו מזערית. לעומתה ישנה גישה אחרת הטוענת שקיים סף חשיפה (threshold) ולא כל מינון בהכרח מעלה את הסיכון לנזקי קרינה. בכל מקרה בבואנו לדון בנושא יש תמיד לשקול את חשיבות הבדיקה ויעילותה באבחון תחלואה משמעותית לעומת הסיכון של הבדיקה לנבדק הפרטני.

לאור חשיבות הנושא, חוסר מודעות מספקת לחשיפה לקרינה בבדיקות השונות והיכרות מוגבלת עם האפשרויות להפחתה בכמות הקרינה, הקמנו צוות מומחים לכתובת "המלצות להפחתה בחשיפה לקרינה ממיפוי לב" (המלצות הפחתה בקרינה בבדיקות CT לבבי נידונו במסמך עמדה משותף מטעם האיגודים הקרדיולוגי והרדיולוגי בישראל - 2010).

## מושגים שימושיים בכימות הקרינה

השיטות השונות לחישוב קרינה מובאות ב**טבלה מס 1**. החישובים בשיטות אלה מתייחסים למידת ה:

1. חשיפה - מוגדרת ככמות היינון שהייתה נגרמת על ידי הקרן אילו היא הייתה עוברת באוויר. חשיפה נמדדת ביחידות רנטגן (R)
2. ספיגה - מוגדרת ככמות האנרגיה הנספגת בחומר כלשהו כתוצאה מפגיעת הקרינה בחומר. ספיגה נמדדת ביחידות Gray (Gy) או Rad.
3. השפעה ביולוגית על הרקמה- הערכת מנת הקרינה בהקשר לנזק הביולוגי המאוחר. ההשפעה נמדדת ע"י גודל הנקרא המנה השקולה או המנה האקויוולנטית (equivalent dose). יחידת המנה האקויוולנטית היא סיוורט (sievert) ובקיצור Sv.
4. ההערכה הכמותית של הנזק הביולוגי המאוחר הנגרם על ידי חשיפת איברים אחדים של הגוף למנות שונות של קרינה נעשית באמצעות גודל הקרוי מנת הקרינה האפקטיבית (effective dose) הנמדדת גם כן ביחידות של סיוורט. ההבדל בין מנה אקויוולנטית למנה אפקטיבית הוא שמנה אפקטיבית לוקחת בחשבון את הרגישות המוגברת של איברים מסוימים לנזקי קרינה (לדוגמא, איברי הרבייה).

חישובי הקרינה לנבדק הבודד סבוכים. הערך המשמעותי ביותר מבחינה קלינית הוא ה effective dose או בקיצור E. ה effective dose משקף את הסיכון מקרינה ונמדד כאמור ביחידות של מיליסיוורט (mSv). ערך זה מבטא למעשה את הסבירות להיארעות סרטן ( אפקט סטוכסטי). המועצה הבינלאומית להגנה מקרינה (ICRP) הגדירה 60 מקדמי סיכון בעזרתם ניתן לחשב את ה E לפי אברים. חשוב לציין שאלה ערכים משוערים בלבד היות והם מבוססים על מודלים רטרוספקטיביים המסתמכים על נתוני תחלואה בניצולי הפצה האטומית וכוללים הסתברויות, השערות ואי ודאויות. מכיוון שכך ערכים אלה משתנים ע"י ICRP באופן עתי.

## עקרונות הכרחיים להבנת החשיפה בקרינה

1. ALARA (as low as reasonably achievable) - הכוונה היא שיש לשאוף שהחשיפה לקרינה תהיה הנמוכה ביותר הניתנת להשגה מבלי לקפח את היכולת האבחונית באופן משמעותי.
2. LAR (lifetime attributed risk) - הסיכון היחסי להיארעות סרטן. לדוגמא: ה LAR בחשיפה ל 10 mSv) כמו במיפוי פרפוזיה של הלב ע"י מיביל) הוא 1 ל 2000 חשיפות. מאידך יש לזכור ששכיחות התמותה מסרטן באוכלוסיה הכללית היא 1 ל 5, כך שתוספת הסיכון הזו להיארעות סרטן מזערית ביותר.
3. ההשפעה הקרצינוגנית בעקבות חשיפה לקרינה קרוב לודאי מתרחשת רק לאחר 10 - 30 שנה.
4. ישנם מקורות נוספים החושפים את הפרט לקרינה מייננת, כמו קרינת רקע טבעית (כ 3 mSv בשנה), עישון סיגריות (2.8 mSv בשנה), טיסות ועוד.
5. הקרינה מצטברת. כלומר, ככל שמבוצעות יותר בדיקות הכרוכות בחשיפה לקרינה, כך עולה רמת הסיכון היחסי לפתח סרטן עם השנים.
6. בבדיקות מיפויי לב ו CT של הלב אין ערך אחד המייצג ספיגה של קרינה, אלא תחום של ערכים המושפעים מסוג האיזוטופ, הסורק, משקל הנבדק, מין, גיל וכו'.
7. השפעת החשיפה לקרינה שונה מאיבר לאיבר. מקדמי החישוב לאיברים השונים נקבעו ע"י הוועדה- 2007 ICRP. ועדה זו הגדירה את מקדמי הקרינה לפי תכונות האיבר, ה- tissue weighting factors = TWF. לדוגמא, מקדם הקרינה (ה TWF) הגבוה ביותר ברפואה גרעינית הוא עבור המעייים בעוד שב CT מקדם הקרינה הגבוה ביותר הוא עבור הריאות ב CT של בית החזה באופן כללי ושד ספציפית בנשים.
8. הערך Effective Dose (E), המבטא הסיכון מקרינה. הוא מושג שאמינותו והאופן בו הוא מחושב נתונים במחלוקת. יש הסבורים שטווח הטעות בחישוב ה Effective dose עשוי להגיע אף ל כ 40% לכל כיוון.
9. לאחרונה הוצעה שיטה חדשה להגדרה של "סיכון קרינה" (מרטין 2007). טרמינולוגיה זו קבעה 5 דרגות: סיכון זניח, סיכון מינימאלי, סיכון נמוך מאד וסיכון נמוך (>10 mSv). לפי הגדרות אלו, מיפוי פרפוזיה ו CT לבבי הינם בסיכון נמוך (>10mSv). ולכן המטרה היא לשאוף להוריד החשיפה לקרינה מתחת ל 10mSv, הווה אומר לרמת סיכון נמוכה מאד. בפרק הבא נדון בדרכים להורדת קרינה הדורשים שימת לב והכנסת פעולות לעבודה היומיומית.

## סיכון לעומת תועלת בביצוע בדיקה הכרוכה בקרינה

על אף הדאגה וריכוז המאמצים להורדה בחשיפה לקרינה יהיה זה לא נכון לעסוק בנושא הקרינה באופן ניפרד מהתועלת הקיימת בבדיקות אבחנתיות הכרוכות בקרינה. חשוב להדגיש גם לרופאים המטפלים, גם לחולים ולציבור בכלל, שהבדיקות הכרוכות בקרינה, נעשות בעיקר במבוגרים ובאוכלוסיה זו הסיכון לאורך החיים לפתח סרטן נמוך בהרבה מאשר בילדים, צעירים ונשים בגיל הפוריות. ולכן, הסיכון של תחלואה ותמותה ממחלת לב או הסיכון של החמצת האבחון של מחלת לב גבוה הרבה יותר מהסיכון התאורטי של סרטן כתוצאה מקרינה.

## המלצות להפחתה בחשיפה לקרינה בביצוע מיפוי לב

ההפחתה בחשיפה לקרינה ניתנת לביצוע ב 3 מישורים:

- התאמה מיטבית של בדיקה לנבדק
- ביצוע מיפוי עם הפחתה מרבית של כמות הקרינה
- שימוש בטכנולוגיות חדשות המאפשרות הפחתת הקרינה.

### 1. התאמה מיטבית של הבדיקה לנבדק

1.1 חשוב שההפניה למיפוי תעשה על פי ההוריות המוכרות ועל פי קריטריונים של התאמת הבדיקה לחולה. איגודים רפואיים מובילים נדרשו לנושא ופיתחו *AUC, appropriate use criteria*. אמות מידה אלה הן קווים מנחים שתפקידם לסייע לרופא להפנות את החולה לבדיקה המתאימה ביותר עבור מצב קליני מסוים. כאשר בדיקת המיפוי מתאימה ועונה על השאלה הקלינית באופן מיטבי, התועלת של אבחנה נכונה וההחלטות הטיפוליות הנובעות מכך עולה לאין שיעור על הסיכון הכרוך בחשיפה לקרינה. כאשר חולה מופנה למיפוי שאינו מתאים או שאינו לפי ההוריות המקובלות, אין חשיפה לקרינה שהיא מוצדקת ואפילו אם מדובר במינונים מזעריים. לכן, קיימת חשיבות רבה בבחירת המיפוי והתאמתו לחולה כך שתהיה לו השפעה על האבחנה וההחלטה הטיפולית. חשוב לזכור, שבהימנעות מביצוע מיפוי לב כשהוא נחוץ או בבחירה של בדיקה חלופית שאינה אופטימאלית רק על מנת להגביל את החשיפה לקרינה, הסיכון הכללי לחולה, לטווח הקרוב וגם לטווח הרחוק עולה עקב עיכוב או טעות באבחון ובטיפול.

ההתוויות הקליניות שאינן מתאימות להפניה למיפוי לב מוצגות בטבלה מס 2.

באופן כללי ניתן לומר שהערך הדיאגנוסטי הגבוה ביותר של בדיקות לא פולשניות לריבוד סיכון בהערכת מחלת לב כלילית נבדקים ללא מחלה כלילית ידועה מושג נבדקים עם סבירות בינונית למחלה כלילית. לכן בקבוצה זו, המיפוי הוא בעל היעילות הגבוהה ביותר. כמו כן, למיפוי חשיבות טיפולית ופרוגנוסטית גם בחולים עם מחלה כלילית ידועה. מאידך גם בחולים בסיכון נמוך לפתח אירועים לבביים אך עם סימפטומים לא מוסברים העשויים להצביע על מחלה משמעותית וברת סיכון יש למיפוי חשיבות בשלילת מחלה. שיקול קליני צריך להיות ספציפי

ומותאם לחולה. אולם כאמור קווים כלליים מנחים עשויים לסייע בבחירת הבדיקות המתאימות לפי קטגוריות קליניות ( ref 5 )

בניגוד לבדיקות מקבילות להערכת מחלת לב כלילית כגון אקו במאמץ או CT, בדיקת מיפוי לב היא בדיקה זמינה, אמינה ופשוטה יחסית וכמעט שאינה מוגבלת עקב מבנה החולה ויכולת לשתף פעולה. לפיכך חשוב לזכור שבנתח ניכר מהחולים הזקוקים להערכה בלתי פולשנית זהו הכלי היעיל ביותר.

## 1.2. שיקולים העשויים לסייע בהפחתת החשיפה לקרינה

**1.2.1** גיל הנבדק: היות ופרק הזמן מהחשיפה לקרינה ועד לתחלואה בסרטן הינו ארוך ויכול להגיע ל 20 שנה ואף יותר, פוטנציאל הסיכון לחלות בסרטן כתוצאה מחשיפה לקרינה גבוה יותר בצעירים מאשר במבוגרים. מכיוון שהגיל הממוצע של חולים המבצעים מיפוי לב הוא בין 60-65, הסיכון להחמיץ תחלואה כלילית משמעותית גבוה בהרבה מהסיכון התיאורטי לחלות בעתיד הרחוק בסרטן עקב מיפוי לב שהוזמן על פי הוריה מתאימה.

**1.2.2** מין הנבדק: קרוב לודאי שילדים ונשים צעירות חשופים לנזקי קרינה בעתיד הרחוק במידה המשמעותית ביותר. לפיכך באוכלוסיות אלו יש לשקול את נחיצות המיפוי וחלופות אפשריות.

**1.2.3** חשיפה קודמת לקרינה: יש להימנע מבדיקות סדרתיות או בדיקות דומות שלהן אותה מטרה (לדוגמא: אקו לב במאמץ וגם מיפוי לב במאמץ). דרוש כל מאמץ לבחור את הבדיקה המתאימה על פי מאפייני החולה והתמונה הקלינית המוצגת על מנת להגיע לאבחנה הנכונה או הטיפול הנכון בחולה ללא צורך בבדיקות רוחב נוספות. יש לציין שבדיקות תקופתיות בחולים ללא תסמינים לאחר רהווסקולריזציה אינו מקובל וייעשה רק באופן מוגבל כשיש סבירות שתוצאת הבדיקה תשנה את הגישה טיפולית.

## 1.3 סיכום ההמלצות של התאמת הנבדק לבדיקה

- יש להפנות חולה לבדיקה על פי אמות מידה של התאמה.
- יש לשקול בדיקה חלופית עם ערך קליני דומה, בעיקר בנבדקים צעירים ובדגש על נשים צעירות.
- יש להשתמש במיפוי לב במצבים הקליניים בהם היעילות הקלינית תהייה הגבוהה ביותר. קרי: בחולים בסיכון בינוני, בחולים שהמידע הפרוגנוסטי והטיפול חשוב ובאלה עם סימפטומים ממושכים ובלתי מוסברים.
- יש להימנע מבדיקות מקבילות לאותה מטרה. כמו כן יש להימנע מבדיקות תקופתיות באופן סדרתי.
- מנת החשיפה המרבית צריכה להיות עד 10 msv במידת האפשר.

## 2. ביצוע מיפוי עם הפחתה מרבית של כמות הקרינה

המטרה היא לבצע מיפוי לב עם הפחתה מרבית של כמות הקרינה מבלי לקפח את איכות הבדיקה. וזאת על מנת לשמור על הדיוק האבחנתי.

**2.1 מיפוי פרפוזיה של שריר הלב בשיטת SPECT** יכול להתבצע בעזרת חומרים רדיואקטיביים שונים, ע"י פרוטוקולים שונים, במצלמות שונות ושיטות איסוף תמונה שונות. לפרוטוקול המיפוי, החומר הרדיואקטיבי והמצלמה גרעינית השפעה על מידת החשיפה לקרינה. המלצות לגבי מיפוי פרפוזיה המבוצעים ע"י מצלמת PET לא יידונו כאן, היות והשימוש ב-PET לצורך אבחון מחלה כללית אינו בשימוש בארץ. המיפויים מבוצעים ע"י מצלמות גמה, לרוב מצלמות דו ראשיות כלליות או מצלמות גמה קטנות המיועדות לקרדילוגיה. החשיפה לקרינה תלויה בסוג האיזוטופ, בכמות החומר המוזרק ובסוג פרוטוקול הבדיקה.

**בטבלה מס 3** הובאו הפרוטוקולים השונים של מיפויי הלב, לפי האיזוטופים, סוגי הבדיקות, כמויות החומר המוזרק בכל פרוטוקול וכן המנות האפקטיביות (E) המבטאות את הסיכון בחשיפה לקרינה. כפי שניתן לראות בטבלה מס. 3, חישובי E אינם קבועים ותלויים בבחירת שיטת החישוב. ישנם שני סוגי חישובים לפי ICRP (הוועדה הבין לאומית להגנה מקרינה, חישוב על פי  $E1 = \text{effective dose estimates using tissue dose coefficients}$  וחישוב על פי  $E2 = \text{effective dose coefficients}$ ). ניתן גם לחשב E לפי  $PI = \text{package insert}$ , כפי שנקבע על ידי היצרן. יש לציין שחישובי E אינם עקביים. בבואנו לחשב את הסיכון בחשיפה לקרינה, מומלץ להשתמש בערכים של E לפי ICRP. כמות המנה המוזרקת תלויה במשקל החולה, בסוג הפרוטוקול, בסוג האיזוטופ ובסוג המצלמה. נידון בכל אחד מהם, ונמליץ כיצד להפחית קרינה בכל אחד מהמרכיבים.

## 2.2. בחירת האיזוטופ

**2.2.1** ככלל, מיפויי הלב מתבצעים על ידי **תליום 201** או על ידי חומרי פרפוזיה מסומני **טכנציום 99m** (ססטמיבי או טטרופוסמין). בשימוש בפרוטוקולים המקובלים (יידונו בהמשך), מדת החשיפה לקרינה בתליום היא פי שתיים מאשר בטכנציום (22 mSv עם תליום לעומת 11 mSv עם טכנציום). לפיכך מומלץ להשתמש במיפויים עם טכנציום בצעירים ובעיקר נשים. לטכנציום יתרון גם בנבדקים כבדי משקל.

**2.2.2** ניתן להפחית את החשיפה לקרינה ע"י שימוש מושכל בהזרקת האיזוטופ, באופן מותאם לפי משקל הנבדק תוך שמירה על איכות התמונה. מומלץ להשתמש בטבלת כמויות החומר הרדיואקטיבי לפי משקל הנבדק ולהזמין בהתאם את החומרים (unit dose) מבית המרקחת. הנחייה זו תקפה הן לגבי תליום והן לגבי טכנציום. אין הצדקה לחשוף נבדק שמשקלו 70 ק"ג לאותה מנת קרינה כמו נבדק השוקל 100 ק"ג.

## 2.3. בחירת פרוטוקול המיפוי

**2.3.1** מיפוי עם **תליום** (מאמץ-רהדיסטריבוציה או מאמץ-הזרקה חוזרת) להערכת איסכמיה וחיות שריר הלב. כמות התליום המוזרקת נעה בין 2.5-5 מיליקירי (mCi) בהתאם למשקל הנבדק וסוג הפרוטוקול. ניתן להקטין הכמות, אם נשתמש בטבלת משקל והתאמת המנה לפי משקלים, כאשר 3 מיליקירי יינתנו לנבדק שמשקלו כ-70

ק"ג ולנבדקים כבדים יותר ניתן לחשב את כמות התליום לפי תוספת של  $0.04 \text{ mCi / kg}$ . כמו כן ניתן לחשב את ה effective dose הכל גופי לנבדק, לפי  $6.3 \text{ mSv}$  למיליקירי ( ערך משוער) של תליום מוזרק. לדוגמא: נבדק במשקל 70 ק"ג שקיבל 3 מיליקירי של תליום, ייחשף ל  $18.9 \text{ mSv}$ .

דרך נוספת לחסוך בחשיפה לקרינה היא להימנע מהזרקה חוזרת של תליום, לצורך הערכת חיות שריר הלב, ע"י המתנה לרהדיסטריבוציה לאחר 24 שעות, ללא הזרקה נוספת של תליום.

### 2.3.2 מיפוי עם חומרים מסומני טכנציום: ססטמיבי או טטרופסמין.

קיימים 3 סוגי פרוטוקולים: מנוחה- מאמץ, מאמץ- מנוחה, ופרוטוקול של יומיים המיועד לכבדי משקל  $< 100$  ק"ג או  $\text{BMI} < 30$ . כמות החומר הרדיואקטיבי, טכנציום, בפרוטוקולים השונים מובאת בטבלה מס 4. המנה הראשונה המוזרקת במינון נמוך (low dose) בין אם במנוחה או מאמץ, היא רבע מהמנה הכוללת של כל הבדיקה, כ  $8-12 \text{ mCi}$  מותאם למשקל. המנה השנייה המוזרקת היא במינון גבוה (high dose), כ  $24-36 \text{ mCi}$  מותאם למשקל. המינונים המוצעים לעיל מתאימים למשקל ממוצע של 70 קג. התאמת כמות הטכנציום לנבדקים כבדים תחושב על פי תוספת של  $0.31 \text{ mCi / kg}$ .

ניתן לחשב את ה effective dose הכל גופי של טכנציום לפי  $0.3 \text{ mSv}$  למיליקירי כפול המנה, ובכך לחשב באופן משוער את כמות החשיפה לקרינה לנבדק. הפרוטוקול המועדף הוא מיפוי המתחיל לאחר מאמץ, בעיקר במקרים של חשד למחלה כללית. הסבירות שהמיפוי יהיה תקין לאחר שלב המאמץ, הוא לפחות ב 60% מהמקרים במיוחד כשהוא מלווה במיפוי לתיקון אטנואציה. במקרה כזה מקובל כיום לסיים את הבדיקה לאחר שלב המאמץ ( stress only) ללא צורך במיפוי נוסף במנוחה. באופן זה הנבדק יקבל מנה ממוצעת של כ - 10 מיליקירי טכנציום שהיא שוות ערך למנת חשיפה של כ  $3 \text{ mSv}$  בלבד. מיפוי זה מומלץ על פני תליום, במיוחד באבחון איסכמיה אצל נבדקים סימפטומטיים, ללא היסטוריה של תחלואה כללית.

2.3.3 מיפוי מסוג (Dual isotope (TI-201 rest, Tc 99m stress) אינו מומלץ, מכיוון שמידת החשיפה לקרינה היא הגבוהה ביותר בהשוואה לפרוטוקולים האחרים. יש אפשרות להשתמש בפרוטוקול זה בהתוויות ספציפיות כגון הערכת חיות (viability) משולבת בהערכת הפרפוזיה באזורים השונים של שריר הלב.

### 2.4 סיכום והמלצות

- יש לבדוק את ההתוויה הקלינית ואת נתוני הגוף של כל נבדק ולבחור בהתאם את האיזוטופ ופרוטוקול הבדיקה על פי ההנחיות שתוארו.
- יש להעדיף שימוש באיזוטופ עם זמן מחצית קצר (עדיף טכנציום על פני תליום), בעיקר בצעירים וכבדי משקל.
- יש להתאים את כמות האיזוטופ המוזרק על פי משקל הנבדק
- לבצע בדיקות בגישה של STRESS ONLY



### 3. אמצעים טכנולוגיים להפחתת קרינה – שיטות איסוף נתוני התמונה ומצלמות שונות

שימוש נכון במצלמות גמה, ותוכנות מתאימות עשוי לאפשר הפחתה במנת הקרינה. במרבית המכונים לרפואה גרעינית המיפויים מבוצעים במצלמות גמה מסוג ANGER עם גבישים של NaI(Tl) וקולימטורים מסוג parallel-hole ורזולוציה גבוה.

**3.1 מצלמות** דו ראשיות הן המקובלות ועדיפות על מצלמות חד ראשיות שהן פחות בשימוש. המצלמות הדו ראשיות מאפשרות הורדה בכמות הקרינה, במשך אותו זמן מיפוי כמו במצלמה עם ראש אחד. קיימות גם מצלמות תלת ראשיות שבהן המיפוי מבוצע ב 360 מעלות. היות ומיפויי ה SPECT ב 180 מעלות מציגות תוצאות דומות לאלו של 360 מעלות, המצלמות הדו ראשיות עדיפות על פני התלת ראשיות

**3.2 קולימטורים:** הקולימטורים שבשימוש ברוב מצלמות הגמא הם מסוג low energy high resolution parallel hole. לעומת זאת, שימוש בקולימטורים שהם "general purpose" מעלה את הרגישות פי שתיים אך במחיר של הפחתה ברזולוציה של התמונה. שימוש בקולימטורים מסוג זה יאפשר להוריד את המנה הרדיואקטיבית המוזרקת למחצית ובו בזמן לשמור על אותו מספר ספירות, זאת במחיר של ירידה ברזולוציה מ 8.5-10 ל 9.5-10 מ"מ. כדאי לשקול שימוש בקולימטורים אלו בעיקר עבור מיפויי תליום, שהוא איזוטופ בעל אנרגיה נמוכה. **קולימטורים לפי בחירה.** קיימת גישה חלופית שהיא תכנון קולימטורים ייחודיים להדמיה לבבית. לדוגמא, קולימטורים מסוג pin hole בעלי רגישות ורזולוציה גבוהים. רצוי לשקול התאמת קולימטורים מתאימים במידה ורוכשים מצלמה חדשה.

### 3.3 שכלול איסוף נתוני התמונה:

**3.3.1** הרחבת חלון אנרגיה. אחת הדרכים להגדלת מספר הספירות בהזרקה של מנת קרינה נמוכה, הינה ע"י הרחבת חלון האנרגיה. אולם דבר זה עלול להגביר את אחוז קרני הגמא המפוזרות ולגרום ל scatter effect המפחית את הרזולוציה המרחבית ואת ניגודיות התמונה. לכן אם מרחיבים את חלון האנרגיה עדיף להשתמש בעיבוד נתונים ע"י iterative reconstruction, כמו OSEM, במקום FBP. בביצוע מיפויי פרפוזיה ע"י תליום, הוספת פיק אנרגיה שני של תליום שהוא 167 KEV, יביא לעליה בספירות בכ 10% ובכך תתאפשר הורדה יחסית בכמות מנת התליום המוזרקת. תוספת אנרגיה גבוהה זו תשפר את הרזולוציה המרחבית בהשוואה לפוטונים המתקבלים מהאנרגיה הנמוכה של תליום.

**3.3.2** Continuous Acquisition של המצלמה הינה שיטה חלופית ל step and shoot. בעוד שב step and shoot איסוף ספירות כשהמצלמה נעה ממנח אחד למשנהו ב continuous acquisition מתאפשר איסוף ספירות של מספר שניות נוספות במעבר של המצלמה ממנח אחד לשני. שימוש בתוכנה מתאימה שמאפשרת איסוף נתונים רציף, עשוי להביא לתוספת ספירות המאפשרת הפחתת המנה המוזרקת בערך ב- 5%. יש לציין שבשיטה זו ישנה ירידה מסוימת בניגודיות התמונה (contrast) וקיים קושי בסנכרון התמונות בבדיקות Gated.

**3.4 Image reconstruction** במרבית המצלמות, השיטה המקובלת לעיבוד תמונות ה SPECT היא ע"י FBP-filter back projection, שחסרונותיה הם בקבלת תמונות עם כמות ספירות נמוכה ושאינה מאפשרת לבצע תיקון אטנואציה של הפוטונים ושל scatter. לעומת זאת שימוש בטכניקה מתקדמת יותר הנקראת iterative reconstruction- IR מתקנת את פיזור הספירות בתמונה. לכן השימוש ב IR ניכנס לשימוש, לאחר שנימצא שאיכות התמונה המתקבלת ע"י עיבוד ב IR מאפשר איכות תמונה מקבילה לזו של FBP עם מחצית זמן ההדמיה, או לחליפין עם הפחתה של מחצית מכמות הספירות. ישנן מספר תוכנות הנמצאות בשימוש ומסופקות ע"י כל אחד מיצרניות

המצלמות. מומלץ להשתמש בטכניקה כזו לעיבוד התמונות, כך שיאפשר הפחתה של כמות החומר הרדיואקטיבי המוזרק בהתאמה לנבדק. קודם לכן יש לבצע אימות מקומי של הטכנולוגיה בהשוואה לכמות החומר המוזרק. לפני שימוש רוטיני בתוכנה כזו.

**3.5 Attenuation Correction** שיטה שמטרתה היא תיקון ארטיפקטים הנובעים מהנחתת מספר הפוטונים (attenuation) הנגרמת ע"י הרקמות מעל ובסמיכות ללב. התיקון מתבצע בכמה שיטות :

**3.5.1** תיקון אטנואציה ע"י רכיב CT במינון קרינה נמוך, המורכב על מצלמת גמה. מצלמות מסוג זה, מצלמות גמה זו ראשיות עם CT במינון קרינה נמוך קיימות בחלק מהמכונים בארץ. תוספת הקרינה בתיקון אטנואציה זו היא זניחה. לתיקון אטנואציה חשיבות מרובה. בעיית האטנואציה עשויה להגיע עד לכדי 30% מהמיפויים, תלוי במשקל, גובה, BMI ומין הנבדק. המשמעות של תיקון אטנואציה מוצלח (קרי, העלמות הארטיפקט) המבוצע במיפוי לב בחדש למחלה כללית, שמתחיל במאמץ היא שניתן להביא לסיום הבדיקה כבר לאחר השלב הראשון ( שלב המאמץ) כאשר המיפוי מפורש כתקין וע"י כך לחסוך את ההזרקה נוספת של טכנציום עבור מיפוי במנוחה. במקרים אלו אפשר לבצע מיפוי לב בחשיפה לקרינה עד 5 mSv בלבד. קיימת שיטה נוספת לתיקון אטנואציה ע"י מקור של איזוטופ גדוליניום המורכב ליד מצלמת גמה. שיטה זו מיושנת, ופחות בשימוש מאז הכנסת CT במינון נמוך כתוספת למצלמות גמה.

**3.5.2 PRONE IMAGING** היא שיטה נוספת להתגבר על הארטיפקטים הנגרמים על ידי אטנואציה ( רלבנטי רק למיפוי עם טכנציום), היתרון בשיטה זו, שאינה דורשת אמצעי טכנולוגי נוסף, יכולה להתבצע בכל מצלמת גמה ורק במידה ויש חשד לאטנואציה. המיפוי בתנוחת PRONE - שכיבה על הבטן, היא בנוסף למיפוי SUPINE ולכן הסריקה הנוספת מצריכה הדמיה של 10 דקות נוספות ( non gated ). גם במקרה זה ע"י תיקון אטנואציה וקבלת מיפוי תקין ניתן יהיה לסיים הבדיקה כבר לאחר שלב המאמץ ( STRESS ONLY ) ובכך לחסוך את המיפוי במנוחה הכרוך בהזרקה נוספת ( פי 3 ממנת ההזרקה בשלב הראשון ) של חומר רדיואקטיבי.

**3.5.3** קיימות כיום בשוק מצלמות גרעיניות משולבות CT דיאגנוסטי. במערכות משולבות אלה מבצעים CT במינון נמוך, תוספת של 0.9 mSv למשך פרק זמן של דקה לעומת 3-5 דקות במערכות עם CT לא דיאגנוסטי.

### **מומלץ מאד להשתמש באמצעי לתיקון אטנואציה באחת מהשיטות שהוזכרו לעיל.**

**3.6** לאחרונה פותחו מצלמות חדשות ושוכללו המצלמות הגרעיניות הרגילות (ע"י שכלול החומר או/ו התוכנה) באופן המביא לשיפור באיכות התמונה המתקבלת ובעקיפין מאפשר הפחתה בכמות הקרינה הניתנת לנבדק.

**3.6.1** במצלמות גמה חדשות מסוג solid state. הוחלף הגביש היחיד בגבישים הרבים המרכיבים המצלמה באופן המאפשר ביצוע מיפויי SPECT ברגישות גבוהה מאד (עד פי 10 ממצלמת גמה רגילה ), עם שיפור ברזולוציה של האנרגיה וברזולוציה המרחבית. יתרונות אלו מאפשרים קיצור משמעותי בזמן המיפוי ועשויים לאפשר הפחתה משמעותית במנה מוזרקת בהשוואה למנות קרינה המקובלות בשימוש עם מצלמות גמה קונבנציונליות. הניסיון הראשוני המצטבר עם מצלמות מסוג זה מראה כי מצלמות אלה מביאות איכות תמונה גבוהה יחד עם צמצום זמן איסוף ו/או במנה מוזרקת, וגם בעלות פוטנציאל להביא שימושים קליניים חדשים לקרדיולוגיה גרעינית. אומנם מחירן של מצלמות מסוג זה עדיין גבוה, אולם לאור מספר הבדיקות הרב שניתן לבצע בפרק זמן נתון במצלמות אלו

בהשוואה למצלמות הסטנדרטיות, יתכן וקיימת הצדקה בשימוש במצלמה המבוססת על solid state במקום מספר מצלמות קונבנציונאליות.

**3.6.2** שימוש באלגוריתמים לקיצור זמן המיפוי. קיימות כיום מספר שיטות עיבוד המאפשרות קבלת תמונות באיכות גבוהה אשר נוצרו ממיפויים שבוצעו בזמן קצר משמעותית מהזמן הדרוש לקבלת מיפוי בעיבודים הסטנדרטיים. שיטות קיצור זמן אלו מאפשרות לבצע מיפוי לב באמצעות מצלמות רפואה גרעינית סטנדרטיות בזמן קצר (half time acquisition) או לחילופין לנצל את האיכות הגבוהה של התמונות הנוצרות בשיטות אלו לצורך הקטנת מינון החומר הרדיואקטיבי המוזרק לנבדק.

### 3.7 סיכום המלצות:

- במקרים של שימוש בטכנציום יש להתחיל כל בדיקה במיפוי במאמץ ולהוסיף מיפוי לתיקון אטנואציה ע"י PRONE בעת הצורך או ע"י CT באופן קבוע. גישה זו, עשויה לחסוך מיפוי במנוחה וחשיפה לקרינה מיותרת במקרים רבים.
- יש לשקול שינוי בשיטת איסוף הנתונים באופן שיאפשר הפחתה נוספת במנת החומר הרדיואקטיבי המוזרק.
- דוח הבדיקה - תשובת המיפוי. צריך לכלול את ממדי החולה: משקל וגובה, רצוי גם היקף חזה ובטן (הערכה או מדידות). כמו כן לציין את סוג האיזוטופ וכמות המנה המוזרקת.
- במידה של רכישה של מצלמה חדשה, יש לשקול מצלמת SPECT שלה רגישות גבוהה, ו/או רכישה קולימטורים ייחודיים עם פוטנציאל שיאפשר הפחתת מנת הקרינה המוזרקת.

## סיכום

ההמלצות מובאות כאן במטרה להפחית את כמות הקרינה בביצוע מיפוי לב, אך יחד עם זאת לשמור על איכות ההדמיה.

שימוש בהמלצות שהובאו במסמך זה כוללות הפניה נכונה של הפרט למיפוי לב לפי הקריטריונים המקובלים. להפחית בדיקות שהיחס בין עלות תועלת, אינה כדאית, לתפור לניבדק את סוג ההדמיה שתיתן את התוצאה הטובה ביותר ביחס לעלות תועלת. לא לבצע בדיקות חוזרות, באופן רוטיני, אלא על פי אינדיקציות.

באם הנבדק/ת מתאים/ה למיפוי לב, יש לתפור את הפרוטוקול והאיזוטופ לניבדק הפרטני. כמו כן להשתמש במאפייני איסוף נתונים, חומרה ותוכנה שיאפשרו הפחתה משמעותית בכמות הקרינה בד בבד עם שמירת איכות התמונה.

בהתבסס על ההמלצות הנ"ל, המטרה והצפי הוא שבאוכלוסיה המבצעת מיפוי לב, רמת החשיפה לקרינה תהיה בממוצע עד 9 mSv. חשיפה זו נחשבת כסיכון נמוך מאד.

**Radiation quantities and units**

<b>Quantity</b>	<b>Unit</b>	<b>Determination</b>
Exposure	Coulomb per Kg, roentgen ( R)	measurement
Dose	Gray (Gy), rad	multiply exposure by f-factor
Equivalent dose	Sievert (Sv), rem	multiply dose by quality factor
Effective dose (Radiation risk)	Sv, mSv, mrm	multiply equivalent dose by a tissue weighting factor

**Table 1.** Inappropriate indications (median score 1-3)

Indication	Appropriateness score (1-9)
<i>Detection of CAD: Symptomatic evaluation of ischemic equivalent (non-acute)</i>	
1 Low pretest probability of CAD ECG interpretable AND able to exercise	I(3)
<i>Detection of CAD: Symptomatic acute chest pain</i>	
10 Define ACS*	I(1)
<i>Detection of CAD/risk assessment without ischemic equivalent: Asymptomatic</i>	
12 Low CHD Risk (ATP III Risk Criteria)	I(1)
13 Intermediate CHD risk (ATP III Risk Criteria) ECG interpretable	I(3)
<i>Detection of CAD/risk assessment without ischemic equivalent: Syncope</i>	
20 Low CHD risk (ATP III Risk Criteria)	I(3)
<i>Risk assessment with prior test results and/or known chronic stable CAD, asymptomatic OR stable symptoms, normal prior stress imaging study</i>	
23 Low CHD risk (ATP III Risk Criteria) Last stress imaging study done less than 2 years ago	I(1)
24 Intermediate to high CHD risk (ATP III Risk Criteria) Last stress imaging study done less than 2 years ago	I(3)
25 Low CHD risk (ATP III Risk Criteria) Last stress imaging study done more than or equal to 2 years ago	I(3)
<i>Risk assessment with prior test results and/or known chronic stable CAD, asymptomatic OR stable symptoms, abnormal coronary angiography OR abnormal prior stress imaging study, no prior revascularization</i>	
27 Known CAD on coronary angiography OR prior abnormal stress imaging study Last stress imaging study done less than 2 years ago	I(3)
<i>Risk assessment with prior test results and/or known chronic stable CAD, asymptomatic, prior coronary calcium Agatston score</i>	
33 Agatston score less than 100	I(2)
<i>Risk assessment with prior test results and/or known chronic stable CAD, Duke treadmill score</i>	
37 Low-risk Duke treadmill score	I(2)
<i>Risk assessment: Preoperative evaluation for non-cardiac surgery without active cardiac conditions, low-risk surgery</i>	
40 Preoperative evaluation for non-cardiac surgery risk assessment	I(1)
<i>Risk assessment: Preoperative evaluation for non-cardiac surgery without active cardiac conditions, intermediate-risk surgery</i>	
41 Moderate to good functional capacity (greater than or equal to 4 METs)	I(3)
42 No clinical risk factors	I(2)
44 Asymptomatic up to 1 year post normal catheterization, non-invasive test, or previous revascularization	I(2)
<i>Risk assessment: Preoperative evaluation for non-cardiac surgery without active cardiac conditions, vascular surgery</i>	
45 Moderate to good functional capacity (greater than or equal to 4 METs)	I(3)
46 No clinical risk factors	I(2)
48 Asymptomatic up to 1 year post normal catheterization, non-invasive test, or previous revascularization	I(2)
<i>Risk assessment: Within 3 months of an acute coronary syndrome, STEMI</i>	
49 Primary PCI with complete revascularization	I(2)
51 Hemodynamically unstable, signs of cardiogenic shock, or mechanical complications	I(1)
<i>Risk assessment: Within 3 months of an acute coronary syndrome, ACS-asymptomatic post-revascularization (PCI or CABG)</i>	
53 Evaluation prior to hospital discharge	I(1)

Risk assessment: Within 3 months of an acute coronary syndrome, cardiac rehabilitation

54 Prior to initiation of cardiac rehabilitation (as a stand-alone indication) I(3)

Risk assessment: Post-revascularization (PCI or CABG), asymptomatic

59 Less than 2 years after PCI I(3)

Risk assessment: Post-revascularization (PCI or CABG), cardiac rehabilitation

61 Prior to initiation of cardiac rehabilitation (as a stand-alone indication) I(3)

Evaluation of ventricular function, evaluation of left ventricular function

65 Routine use of stress FP RNA in conjunction with rest/stress gated SPECT MPI I(3)

Reproduced with permission from 2009 Appropriate Use Criteria for Cardiac Radionuclide Imaging.<sup>7</sup>

### טבלה מס 3:

**Table 2.** Estimates of effective doses of standard myocardial perfusion imaging protocols

Protocol	Effective doses (mSv)					
	Injected activity (mCi)		From ICRP tables		From manufacturers' PIs	
	Rest	Stress	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>
<sup>99m</sup> Tc Sestamibi rest-stress	10.0	27.5	11.3	11.4	14.6	NR
<sup>99m</sup> Tc Sestamibi stress only	0.0	27.5	7.9	8.0	10.0	NR
<sup>99m</sup> Tc Sestamibi two day	25.0	25.0	15.7	15.6	20.6	NR
<sup>99m</sup> Tc Tetrofosmin rest-stress	10.0	27.5	9.3	9.9	9.7	12.9
<sup>99m</sup> Tc Tetrofosmin stress only	0.0	27.5	6.6	7.1	6.7	8.8
<sup>99m</sup> Tc Tetrofosmin two day	25.0	25.0	12.8	13.5	13.7	18.3
<sup>201</sup> Tl stress-redistribution	0.0	3.5	22.0	22.0	28.7, 9.3, 28.4	46.6, NR, 46.6
<sup>201</sup> Tl stress-reinjection	1.5	3.0	31.4	31.5	43, 14.0, 42.6	69.9, NR, 69.9
Dual isotope <sup>201</sup> Tl- <sup>99m</sup> Tc Sestamibi	3.5	25.0	29.2	29.3	37.8, 18.4, 37.5	NR, NR, NR
<sup>99m</sup> Tc labeled erythrocytes	22.5	0.0	5.7	5.8	2.3	NR
<sup>82</sup> Rb	50.0	50.0	13.5	12.6	3.0	NR
<sup>13</sup> N-ammonia	15.0	15.0	2.4	2.2	n/a	n/a
<sup>15</sup> O-water*	29.7	29.7	2.5	2.4	n/a	n/a
<sup>18</sup> F-FDG	10.0	0.0	7.0	7.0	n/a	n/a

### טבלה מס 4:

**Table 1.** Suggested radiopharmaceutical doses for myocardial perfusion imaging protocols

TI-201 Protocol	Stress (mCi)	Rest (mCi)	Reinjection (mCi)
Stress/Rest	2.5-4.0	-	-
Stress/Rest/Reinjection	2.5-4.0	-	1.0-2.0
Viability Only	-	3.0-4.0	-
Tc-99m Protocol	Stress (mCi)	Rest (mCi)	
Two day	24-36	24-36	
One day, Stress/Rest	8-12	24-36	
One day, Rest/Stress	24-36	8-12	
Dual isotope	24-36	2.5-4.0	

1. Cerqueira MD, Allman KC, Ficaro EP, Hansen CL, Nichols KJ, Thompson RC, Van Decker WA, Yakovlevitch M. Recommendations for reducing radiation exposure in myocardial perfusion imaging. *J Nucl Cardiol*;17(4):709-18.
2. Henzlova MJ, Cerqueira MD, Mahmarian JJ, Yao SS. Stress protocols and tracers. *J Nucl Cardiol* 2006;13(6):e80-90.
3. Brenner DJ. Effective dose: a flawed concept that could and should be replaced. *Br J Radiol* 2008;81(967):521-3.
4. Dietze G, Harrison JD, Menzel HG. Effective dose: a flawed concept that could and should be replaced. Comments on a paper by D J Brenner (*Br J Radiol* 2008;81:521-3). *Br J Radiol* 2009;82(976):348-50; author reply 350-1.
5. Hendel RC, Berman DS, Di Carli MF, Heidenreich PA, Henkin RE, Pellikka PA, Pohost GM, Williams KA. ACCF/ASNC/ACR/AHA/ASE/SCCT/SCMR/SNM 2009 appropriate use criteria for cardiac radionuclide imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Appropriate Use Criteria Task Force, the American Society of Nuclear Cardiology, the American College of Radiology, the American Heart Association, the American Society of Echocardiography, the Society of Cardiovascular Computed Tomography, the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, and the Society of Nuclear Medicine. *Circulation* 2009;119(22):e561-87.
6. Slomka PJ, Patton JA, Berman DS, Germano G. Advances in technical aspects of myocardial perfusion SPECT imaging. *J Nucl Cardiol* 2009;16(2):255-76.
7. Martin CJ. Effective dose: how should it be applied to medical exposures. *The British Journal of Radiology* 2007;80:639-47.