

מסמך עמדה

התוויות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב

מסמך עמדה משותף מטעם:
האיגוד הקרדיולוגי ואיגוד הרדיולוגים בישראל

אפריל 2010



ההסתדרות הרפואית בישראל
המועצה המדעית • האגף לאבטחת איכות

138	.....	מבוא
138	.....	היבטים טכנולוגיים של טמ"ל טכניקת הבדיקה בטמ"ל :
138	.....	חידושים טכנולוגיים להפחתת הקרינה :
139	.....	מגבלות טכניות בסורקי 64 פרוסות :
140	.....	סורקים רב פרוסתיים חדשים :
140	.....	שימוש בחומר ניגוד תוך ורידי.....
141	.....	התוויות קליניות אפשריות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב.....
147	.....	סיכום ההמלצות.....
148	.....	טבלה 1 : התוויות מומלצות כמתאימות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב.....
149	.....	רשימת הספרות.....

הוועדה להתוויות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב

פרופ' יוסי שמש - יו"ר הוועדה , האיגוד הקרדיולוגי בישראל
ד"ר אלי קונן - יו"ר הוועדה, מזכיר איגוד הרדיולוגים בישראל

חברי הוועדה (לפי סדר א-ב):

ד"ר אריק וולק - החוג לקרדיולוגיה גרעינית ו-CT של הלב, האיגוד הקרדיולוגי בישראל
פרופ' רן קורנובסקי - יו"ר החוג לקרדיולוגיה התערבותית, האיגוד הקרדיולוגי בישראל
ד"ר רונן רובינשטיין - החוג לקרדיולוגיה גרעינית ו-CT של הלב, האיגוד הקרדיולוגי בישראל
ד"ר אריאל רוגין - החוג לקרדיולוגיה התערבותית, האיגוד הקרדיולוגי בישראל
ד"ר גלית אבירם - איגוד הרדיולוגים בישראל
ד"ר ג'ורג' בלינדר - איגוד הרדיולוגים בישראל
ד"ר אורלי גויטיין - איגוד הרדיולוגים בישראל
ד"ר תמר גספר - איגוד הרדיולוגים בישראל

טומוגרפיה ממוחשבת (ט"מ) של הלב (טמ"ל), עם ובלי שימוש בחומר ניגוד תוך ורידי, התפתחה בעשור האחרון מיישום מחקרי לכלי אבחנתי בעל יישומים קליניים חשובים¹. למרות הירידה המשמעותית בתמותה ממחלות לב וכלי דם בשלושת העשורים האחרונים, בעיקר עקב שיפור במניעה ראשונית ושניונית של טרשת העורקים, עדיין מחלות לב וכלי דם מהוות גורם תחלואה ותמותה ראשון במעלה בעולם בכלל, ובעולם המערבי בפרט¹. עם ההתפתחות הטכנולוגית של הסורקים הממוחשבים השתפר גם דיוקם באבחנת מחלת לב כלילית², ובמקביל חלה ירידה משמעותית בחשיפה של הנבדק לקרינה מייננת¹. בשנים האחרונות גבר הצורך לבסס את השימוש בטמ"ל על עובדות מחקריות³, ובמקביל התאסף חומר מחקרי וקליני רב לגבי יישומים קליניים של טמ"ל שהביא להערכה מחודשת של השימוש המיטבי בטמ"ל⁴⁻⁶. מטרת סיכום זה היא לעדכן את ההמלצות לביצוע טמ"ל מטעם האיגודים הישראלים לקרדיולוגיה ורדיולוגיה משנת 2005⁷.

ההמלצות המופיעות בהמשך מסמך זה סוכמו לאחר דיון על ידי ועדת מומחים מייצגת (חמישה חברים מכל איגוד), לאחר סקירת ספרות רחבה, וסקירת ההמלצות מאיגודים בינלאומיים מוכרים, כולל הסיכום העדכני משנת 2010^{4-6, 8-10}.

היבטים טכנולוגיים של טמ"ל

טכניקת הבדיקה בטמ"ל :

השימוש בבדיקת טמ"ל עם הזרקת חומר ניגוד עלה משמעותית עם כניסת הסורקים הרב פרוסתיים בעלי 64 פרוסות לשימוש מסחרי בשנת 2005. מאז, עבודות רבות הדגימו את השימושים האפשריים לבדיקה זו במגוון מצבים^{1,4,8,9,11,12}. טמ"ל עם חומר ניגוד תוך ורידי שונה מבדיקת ט"מ אנגיורפיה רגילה של החזה בכך שהבדיקה מסונכרנת לתרשים האק"ג של הנבדק, כלומר לכל פרט מידע המתקבל בסריקה ניתן ליחס את העיתוי במחזור הלב בו נרכש. שיטה זו של סריקה ספיראלית (helical) בתיאום לתרשים האק"ג, ולאחר מכן עיבוד הנתונים עפ"י מחזור הלב, נקראת Retrospective ECG gating. בשיטה זו שפופרת הרנטגן מקרינה לכל אורך מחזור ההתכווצות של הלב בזמן הסריקה. לאחר רכישת הנתונים, המפענח יכול לבחור את השלב המתאים ביותר במחזור הלב לפענוח הבדיקה ובהתאמה לשחזר את התמונות בשלב זה (למשל ב 75% מה R-R interval, המיצג פרק זמן דיאסטולי). החיסרון המרכזי של שיטה זו נובע מכך שהיא חושפת את הנבדק לרמות קרינה גבוהות יותר בשל החשיפה לקרינה לכל משך מחזור הלב¹³.

חידושים טכנולוגיים להפחתת הקרינה :

המודעות לחשיפה לקרינה הכרוכה בבדיקות טמ"ל עם חומר ניגוד, והשאיפה להוריד את החשיפה של הנבדק לקרינה למינימום ההכרחי, הביאה להתפתחויות חדשות בנושא והכנסת טכנולוגיות חדשות כגון ECG-based tube current modulation ובעיקר Prospective ECG gating.

החידוש הטכנולוגי בשיטת ECG-based tube current modulation שגם בה הנתונים נרכשים בסריקה ספיראלית מתבסס על שינוי מתח השפופרת במשך הבדיקה, שיטה זו יכולה להוריד את הקרינה הכרוכה בבדיקה בכ- 40%-50¹⁴. שיטה חדישה יותר שהוכנסה לשימוש בשנתיים האחרונות הינה ה- Prospective ECG gating שהיא שיטת סריקה אקסילאלית המתאפשרת בסורקים בעלי מהירות סיבוב של לפחות 400 מילי-שניות לסיבוב (סורקים עם 64

פרוסות ומעלה). שיטה זו מביאה לחיסכון בקרינה של עד 70-80% בהשוואה לבדיקות שבוצעו בטכניקה של Retrospective ECG gating¹⁵⁻¹⁷.

כאמור, מידת החשיפה לקרינה בהדמיית לב הינה נושא שנבדק באופן נרחב. מחקר רב מרכזי (50 אתרים ברחבי העולם) שבוצע בראשית שנת 2007 ופורסם לאחרונה מצא מנת קרינה אפקטיבית ממוצעת של 12 mSv לשם ביצוע טמ"ל עם חומר ניגוד. הממצא המשמעותי ביותר בעבודה זאת היה שונות רבה ברמת הקרינה בין המרכזים שהשתתפו שנבעה קרוב לודאי מהרכב החולים, מידת השימוש בטכניקות סריקה מתקדמות, הבדלים בין הסורקים, והניסיון של המרכז הרפואי בבדיקות טמ"ל¹⁸. עבודות עדכניות יותר מדווחות על מנות קרינה אפקטיבית משוערות של כ- 1-4 mSv¹ ואף פחות מ 1 mSv בחולים נבחרים¹⁹. לשם השוואה, מינוני הקרינה בבדיקות מיפוי לב (SPECT MPI) מקובלות נעים בין 11mSv לבדיקות Tc ל 22 mSv בבדיקות TI. טווח מנות הקרינה האפקטיבית בצנתורים אבחנתיים נע בטווח רחב שבין 2.3 mSv ל 22 mSv כשהממוצע כ 7 mSv²⁰.

אנו סבורים שבעת ביצוע טמ"ל יש לנסות להוריד את מינון הקרינה ככל שניתן, ובתנאי שתאפשר איכות הדמיה מספקת. בדיקות טמ"ל הינן בדיקות המותאמות בצורה מדויקת לנבדק ולשאלה הקלינית שיטת הבדיקה משתנה בהתאם לשאלה הקלינית, מבנה גוף הנבדק, וקצב לבו בזמן הסריקה. איכות הדמיה בטמ"ל תלויה גם בסוג הסורק ורצוי שטמ"ל תתבצע באמצעות מכשיר ט"מ חדיש יחסית (64 פרוסות ומעלה). יחד עם זאת יש להביא בחשבון מגבלות טכניות אפשריות גם בסורקים אלו:

מגבלות טכניות בסורקי 64 פרוסות:

- **האטת קצב לב הנבדק:** הרזולוציה הטמפורלית בבדיקת טמ"ל נמוכה מזו המושגת בצנתור כלילי פולשני ובשל כך קיים צורך בדופק איטי יחסית בזמן הבדיקה. בסורקי ט"מ רב פרוסתיים תמונה אחת נוצרת על ידי קבלת המידע מכל הזוויות מסביב לנבדק, לשם כך דרוש סיבוב של 180 מעלות של מערכת השיקוף הסובבת (gantry). היות שמהירות הסיבוב סביב החולה הינה 400 מילישניות לרוב, איכות התמונה אינה מיטבית בקצבי לב גבוהים (מעל 70 לדקה). האטת הדופק משפרת את איכות התמונה (ומאפשרת גם הורדה של רמת החשיפה לקרינה בפרוטוקולי סריקה מסוימים, כמפורט).
- **הפרעות קצב:** על מנת לקבל סריקה איכותית בטמ"ל, מומלץ לסרוק את החולה בזמן שהלב פועם במקצב סינוס סדיר. בדיקה ספיראלית אורכת בדרך כלל כ 8-12 שניות וכוללת בממוצע כ 6-8 פעימות לב (בהתאמה לדופק הנבדק). נוכחות הפרעות קצב עלולה לפגום באיכות הבדיקה באופן משמעותי ולעיתים אף מגבילה או לא מאפשרת את ביצוע הבדיקה. עם זאת, בחלק מהמכשירים קיימות היום תוכנות היכולות לזהות ו"לתקן" הפרעות קצב ממוקמות (ECG editing), וכמו כן ניתן לנסות לשחזר את המידע הממוחשב שנרכש בפאזות שונות של מחזור הלב כדי לשפר את איכות ההדמיה במקטע זה.
- בדיקות בשיטת ה "Step and Shoot" עם Prospective ECG gating אף יותר רגישות להפרעות בקצב הלב היות והקרינה מופעלת בחלונות זמן צרים בלבד ובמקרה של הפרעת קצב הרכישה עלולה להיות בפאזה שגויה של מחזור ה R-R עם תנועת לב מרובה.
- **הסתיידויות העורקים כליליים:** בעיה טכנית נוספת קשורה לארטיפקטים הנובעים מנוכחות הסתיידויות כליליות. בנוכחות רבדים עתירי סיד עלול להיווצר עיוות בתמונה ("blooming"), והשחרה של התמונה בסמוך לרובד טרשתי עתיר הסייד. ארטיפקט זה מגביל את יכולת ההדמיה של רבדים כאלה, את היכולת להעריך את מידת ההיצרות האמיתית הנגרמת על ידם, ועלול להיות כרוך באבחנת יתר של הצרויות.

שלב חשוב בביצוע טמ"ל הינו הכנת הנבדק. הכנה טובה של הנבדק ושיתוף פעולה מצידו מגדילים את הסיכוי לקבלת איכות הדמיה טובה.

ככלל מומלץ:

- לוודא כי תפקודי הכליות של הנבדק תקינים, ובאם לאו לשקול את ביצוע הבדיקה עם הכנה מתאימה.
- לוודא שהנבדק במקצב סינוס סדיר. ויש לשקול היטב את ביצוע הבדיקה באם קיימות הפרעות קצב קבועות.
- במקרה של הפרעות קצב יש עדיפות לסריקה ספיראלית עם Retrospective ECG gating על פני Prospective ECG gating.
- לשאוף לדופק מטרה של כ 60 פעימות לדקה ומטה (בהתחשב במצבו הקליני של הנבדק). ניתן להוריד את הדופק על ידי מתן חוסמי בטא באופן פומי טרם הבדיקה או במתן חוסמי בטא תוך ורידי תוך כדי הבדיקה.
- להסביר לנבדק את אשר צפוי לו במהלך הבדיקה (לדוגמא, תחושת חום עקב הזרקה חומר הניגוד).
- לבצע עם הנבדק תרגול של עצירת הנשימה, הדרושה במהלך הבדיקה (עצירת נשימה של 8-12 שניות).
- לשקול הזלפת תרסיס ניטרוגליצרין תת לשונית, סמוך טרם לסריקה על לקבלת הדגמה מיטבית של העורקים הכליליים. המלצה זו מותנית בהעדר התוויות נגד ובכך שלחץ דמו של הנבדק הינו לפחות 110/70 מ"מ"כ טרם ההדמיה.

נבדק היודע ומבין את אשר צפוי לו בבדיקה ישתף פעולה טוב יותר מנבדק שלא יודע על מהלך הבדיקה.

סורקים רב פרוסתיים חדשים:

מכשירי הט"מ הרב פרוסתיים עוברים שינויים ופיתוחים מתמידים ולאחרונה הוכנסו לשוק סורקים חדשים. סורקים אלה הינם בעלי טכנולוגיית גלאים (detectors) איכותית, מספר פרוסות רב (128, 256, 320 פרוסות), ומהירות סיבוב גבוהה של המערכת הסובבת סביב החולה (gantry), הנמוכה משמעותית מ- 400 מילי-שניות (מהירות סיבוב שפופרת הטיפוסית בסורקי ה 64 פרוסות). מאפיינים טכניים אלה מאפשרים שיפור ברזולוציה הטמפורלית עד ערכים של 135 מילישניות (בהשוואה לערכים של 165 ו- 210 מילישניות בסורקי 64 פרוסות קודמים), קיצור משך הסריקה והורדה במינון הקרינה²¹⁻²³. עבודות ראשוניות בסורקים אלה, מדווחות על איכות הדמיה טובה יחסית גם בתנאים לא מיטביים (קרי בקצבי לב גבוהים) ואף הורדה נוספת בחשיפה לקרינה מייננת²¹⁻²³. קיימות מספר עבודות המתייחסות לשימוש ב Prospective ECG gating גם בסורקי 256 פרוסות ללא ירידה באיכות התמונה^{21, 24}. סורקי 256 פרוסות מכסים עד 80 מ"מ אורך גוף בסיבוב אחד וסורק ה 320 פרוסות מכסה עד 160 מ"מ בסיבוב, זאת בהשוואה ל 40-19 מ"מ בסורקי ה 64 פרוסות. לפיכך, סורק ה 256 פרוסות יכול לכסות את כל הלב בשתי סריקות אקסיליות (בשתי פעימות לב) וסורק ה-320 פרוסות יכול לסרוק את כל הלב תוך פעימת לב בודדת.

סורקי ט"מ חדשים מסוג dual source הינם בעלי שני מערכים של שפופרות קרינה וגלאים רב פרוסתיים המסודרים בניצב והמידע נאסף בו זמנית משני מקורות הקרינה. לפיכך דרוש רק כרבע סיבוב של מערכת ה gantry על מנת לקבל אינפורמציה מלאה. לפיכך הרזולוציה הטמפורלית בסורק dual source עם מהירות סיבוב של 330 מילישניות הינה של כ 83 מילישניות. מספר עבודות ראשוניות מדווחות על הדמיה טובה גם בכלי דם קטנים, תלות נמוכה יותר בדופק הנבדק, דהיינו יכולת טובה יותר לסרוק נבדקים בדופק גבוה או לא סדיר, וחשיפה נמוכה

לקרינה מייננת²⁵⁻²⁷. בנוסף, דגם מתקדם של סורק ה dual source מאפשר סריקה ספיראלית תוך התקדמות מיטה מהירה במיוחד, מה שמאפשר דימות של כל הלב במהלך פעימת לב אחת. שיטת סריקה זו מתאימה לחולים עם קצב לב סדיר.

שימוש בחומר ניגוד תוך ורידי

פרוטוקול הזרקת חומר הניגוד אינו קבוע ומשתנה בהתאם לשאלה הקלינית, כגון: הדמיית העורקים הכליליים בלבד, בדיקה לאחר ניתוח מעקפים (CABG), בדיקה המכוונת גם להדגמת אבי העורקים ו/או עורקי הריאה, בדיקה המכוונת להדגים גם את החדר הימני וכו'. השיפורים הטכנולוגיים הרבים הביאו בין היתר גם לירידה משמעותית בכמות חומר הניגוד הדרוש לבצוע הבדיקה. אם בתחילת עידן הטמ"ל נפח החומר הניגוד שהוזרק בבדיקה המכוונת להדמיית העורקים הכליליים עמד על כ 200 מ"ל לערך, הרי שכעת הכמות בד"כ נמוכה מ 100 מ"ל ותלויה גם במהירות הסריקה²⁸.

לסיכום המבוא, נראה כי חידושי חומרה ותוכנה מתמידים מאפשרים שימוש יעיל ומיטבי בסורקים הרב פרוסתיים המשוכללים. השימוש בטכניקות הסריקה המתקדמות בד בבד עם השימוש בתחנות עבודה הכוללות תוכנות פענוח חדשות, צוות טכני מקצועי ומנוסה, ופענוח הבדיקה על ידי קורא מיומן, מניבים תוצאות מיטביות בפענוח בדיקות אלה. בהסתמך על כך, וכן על סמך ניסיון קליני ומידע מחקרי רב שנצבר, אנו מסכמים בפרק הבא (ומציגים בטבלה מספר 1) את המלצותינו לשימוש מושכל בטמ"ל.

התוויות קליניות אפשריות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב

ברור אמבולטורי של כאבי חזה

- בנבדק בסבירות נמוכה עד בינונית למחלה כללית חסימתית ובפרט אם אינו מסוגל לבצע מאמץ אבחנתי ו/או בנוכחות תרשים א.ק.ג שמקשה על פענוח (כגון CLBBB, שינויי רה-פולריזציה).
- בנבדק עם מבחן מאמץ, מיפוי, או אקו לב במאמץ בלתי החלטיים או שאינם ניתנים לפענוח, אך נדרש המשך בירור.

חולה עם תסמונת כאב בחזה הנמצא בסיכון גבוה למחלה כללית חסימתית יופנה להערכה פיזיולוגית של חומרת המחלה או לצנתור כלילי. מאידך, בחולים תסמיניים עם סיכון נמוך או בינוני²⁹ לקיום מחלה כללית חסימתית תהא מטרת הבדיקה לוודא העדר חסימות משמעותיות. חולים אלו ניתן להפנות לטמ"ל גם אם טרם ביצעו בדיקה לא פולשנית כלשהי, ובפרט באם אינם מסוגלים לבצע מבחן מאמץ רגיל (הבדיקה הלא פולשנית השכיחה בישראל), או שהאק"ג שלהם מקשה על פענוח. חולים אלו ניתן להפנות לטמ"ל גם אם עברו כבר בדיקת מאמץ כלשהי שתוצאותיה לא היו מובהקות או שהן חשודות ככזובות (חיובי כזוב או שלילי כזוב). באוכלוסיה זו של חולים בסיכון נמוך-בינוני ו/או עם תוצאות בדיקות אחרות שאינן אבחנתיות, טמ"ל הוכח כבעל דיוק רב ויעילות קלינית²

30-35, 9, 8, 6, 4

כאבי חזה חדים (Acute chest pain)

- כאבים בחזה נבדק בסבירות נמוכה עד בינונית למחלה כללית חסימתית, ללא שינויים איסכמיים בתרשים הא.ק.ג וללא עליה בסמני הלב בדם בבדיקות עוקבות.
- לשלילת מחלה כללית, תסחיף ריאתי ודיסקציה אאורטלית בהסתמנות חדה (Triple rule out) כשקיימת אבחנה מבדלת עם חשד קליני סביר לבעיות הנ"ל.

טמ"ל מהווה בדיקה יעילה ומהירה לשלילת מחלה כללית טרשתית בכלל ומחלה כללית חסימתית בפרט. הערך המנבא השלילי של הבדיקה מתקרב כמעט ל-100%^{1,2,5,8,9}, ומאפשר שחרור מהיר ובטוח יחסית מחדר המיון של חולים שהגיעו עם תסמונת כאב בחזה שאינה ברורה וללא סמני סיכון גבוה כגון כאב מתמשך, רמת טרופונין מוגברת בבדיקות הדם, או שינויי מקטע ST החשודים לאיסכמיה³⁶. גישה אבחונית זו נמצאה יעילה במיוחד באוכלוסיה בעלת סיכון לא גבוה למחלה כללית חסימתית³⁷. ייתכן והבדיקה גם כרוכה בעלות נמוכה יותר וביעילות זהה לפרוטוקול ברור סטנדרטי (למשל ע"י מיפוי לב) לחולה בחדר המיון³⁸. הבדיקה הוכחה גם כמשפיעה על ההחלטה לשחרר או לאשפז מחדר המיון כשהאבחנה אינה ברורה³⁹, ומאפשרת לרופא המאבחן גם יכולת לשלול סיבות אחרות לכאב בחזה (כאשר קיימת אחת או שתי אבחנות נוספות באבחנה המבדלת). בשל האמור לעיל, קיימת הסכמה רחבה בקרב האיגודים הבינלאומיים של השימוש בטמ"ל להתוויה זו⁴⁻⁶. לאחרונה אף הוצגה עבודה רב-מרכזית (CT-STAT) המאשרת כי טמ"ל הינה בדיקה בטוחה, מהירה יותר, וכרוכה בעלות נמוכה יותר לביצוע מאשר פרוטוקול אבחון סטנדרטי בחולים בחדר המיון⁴⁰.

אבחון תהליכים פתולוגיים לבניים

- בירור משלים של גוש בלב (גידול או קריש דם) כשההדמיה באקו לב (TTE או TEE) ותהודה מגנטית של הלב (CMR) מוגבלת טכנית או אינה אבחנתית.
- הערכת קרום הלב (מסה פריקרדיאלית, constrictive pericarditis, או סיבוכים לאחר ניתוחי לב) כשההדמיה באקו לב (TTE או TEE) ו CMR מוגבלת טכנית או אינה אבחנתית.

טמ"ל יכולה לסייע באבחנה המבדלת של מסה בלב או בסביבתו. והיא יעילה גם לאבחון פתולוגיה בקרום הפריקרד (למשל עיבוי או הסתיידות), ולעתים גם בהערכת תפקוד הלב ותצורת התכווצות הלב, ובפרט כאשר אקו-לב טרנס-טורקלי (TTE) או דרך הושט (TEE), או תהודה מגנטית של הלב (CMR) אינם אבחנתיים⁴¹⁻⁴³. אמנם אין מדובר במקרים נפוצים, ולכן לעת עתה, אין למיטב ידיעתנו בנמצא מחקרים מבוקרים השוואתיים. למרות זאת, עקב העדר זמינות ונגישות מספקת של ה- CMR מחד, ותרומת הטמ"ל באבחנה במקרים הנ"ל מאידך, הוכללו התוויות אלו גם בהנחיות האיגודים הבינלאומיים הראשיים^{4-6,8,9}.

אבחון תחלואה לבבית מבנית או בכלי הדם הגדולים

- הערכת ורידי הריאה בחולים עם פרפור פרוזדורים לפני בצוע צריבה של ורידים אלה (RF ablation), או חשד קליני לסיבוך לאחר הפעולה.
- מיפוי ורידי הלב, טרם השתלת קוצב דו-חדרי.
- חשד למעורבות מוצא העורקים הכליליים במסגרת הערכה של מפרצת ו/או דיסקציה של אבי העורקים החזי.
- הערכת מבנה ותפקוד חדר ימין כאשר ההדמיה באקו לב (TTE או TEE) מוגבלת, ו CMR אינו זמין.

טמ"ל יכולה לסייע בהכנה מיטבית של חולים לפני טיפול פולשני בפרפור פרוזדורים, לצורך מיפוי ורידי הריאה בטרם הפעולה המתבצעת לעתים קרובות תוך שילוב הדמיה אנטומית ומיפוי חשמלי של העלייה שמאלית.^{44,45} בנוסף טמ"ל מהווה אמצעי הדמיה עיקרי לאבחון ומעקב אחר התפתחות הצרויות בורידי הריאה לאחר הפעולה עקב הקושי הקיים באבחון קליני, וההכרח לטפל בו ללא דיחוי.^{46,47} יש לזכור שלצורך מעקב ניתן להסתפק לעתים קרובות בטמ"ל עם חומר ניגוד ללא ECG gating, דבר המקטין את רמת החשיפה לקרינה. בנוסף יש לציין כי ניתן להיעזר בטמ"ל לשם שלילת נוכחות קריש דם באזנית העלייה השמאלית טרם הפעולה ובכך להגביר את בטיחותה,⁴⁸ אך בהקשר זה חשוב להדגיש שבשלב זה טמ"ל אינה מהווה תחליף לאקו-לב (TEE).

בחולים עם אי ספיקת לב מתקדמת הזקוקים לקיצוב דו-חדרי (Cardiac resynchronization therapy), טמ"ל יכולה לסייע בהדמיה מדויקת של הורידים הכליליים בפרוטוקול מתאים ובכך לסייע בתכנון הפעולה ואיתור המיקום המיטבי להחדרת האלקטרודה המיועדת לקיצוב החדר השמאלי.^{49,50}

טומוגרפיה ממוחשבת (ט"מ) עם חומר ניגוד ובתזמון מתאים הינה בדיקת הבחירה הנפוצה בעולם לאבחון מפרצת או דיסקציה באבי העורקים.⁵¹ בעוד שבעבר אנגיוגרפיה פולשנית היוותה את בדיקת הייחוס, השיפור בדיוק האבחנתי ומהירות הבדיקה (גם ביחס לתהודה מגנטית המהווה חלופה טובה במקרים אלו) הביא לכך שט"מ הינה בדיקה מועדפת (בהעדר התוויות נגד) לאבחנת מצבים מסכני חיים אלו וניתן בעזרתה גם להדגים את מוצא העורקים הכליליים.^{6,8,9}

טמ"ל הינה גם בדיקה מועילה להערכת מבנה ותפקוד חדר ימין (שלעתים קשה להעריכו ב TTE ו TEE), ויכולה לסייע באבחון והערכה פרוגנוסטית במגוון מצבי מחלה התלויים במבנה ובתפקוד החדר הימני, ובייחוד באם CMR אינו זמין.⁵¹⁻⁵³

ניתוח מעקפים

- אבחון חסימות של מעקפים כליליים בחולים לאחר ניתוח מעקפים (CABG) הסובלים מכאבי חזה לא טיפוסיים.
- לצורך אבחון משלים של המהלך האנטומי של עורק השד הפנימי (IMA) ומעקפים כליליים לפני ניתוח חוזר REDO, או ניתוח מסתמים בחולה לאחר CABG וזאת על מנת להעריך את מרחק המעקפים מן הסטרנום וכן את מידת קרבת חדר ימין לסטרנום.

לבדיקת טמ"ל יכולת אבחנתית טובה בהערכת הצרויות במעקפים בחולה לאחר ניתוח מעקפים (CABG). רמת הדיוק של טמ"ל באבחון הצרויות במעקפים ונקודת ההשקה הולכת ומשתפרת אך תלויה עם זאת בכלי הדם הכלילי הנבדק (מעקף, איזור ההשקה, וכדומה). רמת הדיוק בעורקים הכליליים שלא קבלו מעקף דומה לזאת המתוארת בספרות בחולים ללא CABG. אך חשוב לזכור שחלקים קריבניים למעקף נוטים להתנוון ולהסתייד, דבר המקשה לעתים קרובות בהערכה של מידת ההיצרות. כמו כן לבדיקת טמ"ל מגבלה מסוימת להעריך את ה distal runoff בעורקים הכליליים, רחיקנית להשקה. בדומה לבדיקת צנתור פולשני, בחולים לאחר CABG נדרשת בבדיקת הטמ"ל חשיפה רבה יותר לקרינה (עקב שדה סריקה גדול יותר) וכמות גדולה יותר של חומר ניגודי. בהתחשב במגבלות אלו, ניתן לסכם כי בדיקת הטמ"ל עשויה לסייע לחולים לאחר CABG המציגים שאלה אבחנתית ספציפית (בעיקר לשאלה האם מעקף מסוים עדיין פתוח), או כאשר ההסתמנות הקלינית אינה חד משמעית או שיש העדפה להימנע מפעולה פולשנית.⁵⁴⁻⁵⁸ לטמ"ל חשיבות גם בהערכת המהלך האנטומי של עורק השד הפנימי (IMA) ומעקפים ורידיים לפני ניתוח מעקפים חוזר או ניתוח מסתמים בחולה לאחר CABG. מטרת הבדיקה היא גם להעריך את מרחק השתלים מן הסטרנום וכן את מידת קרבת חדר ימין לסטרנום (ממצאי הטמ"ל עשויים לשנות את מהלך

הניתוח החוזר, למשל בחירה בחתך מסוג Para median sternotomy כדי להימנע מפגיעה בשתלים או פגיעה בחדר ימין)^{59, 60}.

הערכת הצרויות נשנות בתומכנים

- כאלטרנטיבה לא פולשנית לביצוע מעקב לאחר הכנסת תומכן בעורק שמאלי ראשי (Left main coronary artery).

הערכת מידת היצרות חוזרת בתומכנים בעזרת טמ"ל בהשוואה למדידה אובייקטיבית כמותית (QCA) ואף לאולטרא סאונד תוך כלי (IVUS) נבדקה במספר עבודות ולאחרונה גם במכשירי 64 פרוסות. בפרסומים עדכניים נמצא שניתן היה להעריך חלק יחסי גדול מהתומכנים (לעומת עד כשני שלישי לכל היותר בעבר)⁶¹. במחקרים השונים נמצא כי הגורם המשפיע ביותר על דיוק האבחון בטמ"ל הוא קוטר התומכן (< 3 מ"מ). גורמים נוספים המשפיעים במידת מסוימת על דיוק האבחון הם: מאפייני הפעולה (התפצלות, תומכן בחפיפה לתומכן וכדומה), מבנה התומכן (עובי ה struts > 100 מיקרון), הרכב התומכן (תומכנים מפלדה בהשוואה לקובלט כרומיים) ומיקום התומכן (השתלה בחלקו הרחיקני של העורק). ניתן על כן לסכם כי בשלב הנוכחי של טכנולוגיית הט"מ, בדיקת טמ"ל בחולים לאחר השתלת תומכן מוגבלת ואינה מומלצת לשימוש שגרתי למטרה זו. יחד עם זאת מסתמן שטמ"ל עשויה להועיל לחולים עם תסמינים שאינם מחשידים בסבירות גבוהה להצרות נשנית ושבהם הושתל תומכן גדול יחסית (שקוטרו < 3 מ"מ)⁶²⁻⁶⁸.

לאור מגבלות הטמ"ל בהתוויה זו, אנו סבורים שההצדקה הקלינית לעת עתה מתאימה בעיקר למעקב שגרתי בחולים שעברו השתלת תומכן בעורק השמאלי הראשי (left main stem), ובעיקר באם הם אינם תסמיניים⁶⁹, וזאת בשל החשיבות הקלינית של מעקב בחולים אלו והשימוש בתומכנים בעלי קוטר גדול יותר בעורק זה. כמובן שיש טעם לשקול לבצע בדיקה זו כשהסיכוי הקליני להצרות מחדש אינה גבוה. נדגיש, כי אם מתבצעת טמ"ל בהתוויה זו, ולא הושגה הדגמה אופטימאלית של תומכן הפתוח לרווחה, יש לציין זאת בהירות ולשקול את אופן המשך הבריור.

הערכת אנומליות כליליות ומומי לב מולדים

- חשד לאנומליות של העורקים הכליליים.
- הערכה של מומי לב מולדים כולל אנומליות של מהלך עורקים כליליים, כלי דם גדולים, חדרי לב ומסתמים, כאשר ההדמיה באקו לב וב- CMR מוגבלת.

עד לאחרונה, היה צנתור פולשני תקן הזהב לאיתור חריגות של העורקים הכליליים (anomalies coronary) עם זאת, התקדמות טכנולוגיית הט"מ סייעה להפוך את הטמ"ל לחלופה טובה יותר.

בשני מחקרים שפורסמו לאחרונה והשוו טמ"ל וצנתור פולשני נמצא שצנתור פולשני הצליח לזהות מוצא חריג של עורק כלילי רק ב 80%, מהלך חריג רק ב 53% ואבחנה אנטומית מדויקת רק ב 55% מהמקרים וזאת בהשוואה לטמ"ל. יתרה מזאת, בהתבסס על מחקר (registry) רב מרכזי, טמ"ל הצליח להוכיח חד משמעית את מקורו ואת מהלכו של העורק החריג בכל המטופלים שהופנו להליך בעקבות ממצא שאינו חד משמעית בצנתור פולשני. בכמחצית מהחולים במחקר זה המידע שהתקבל מממצאי הטמ"ל סיפק מידע חיוני שהיווה בסיס לקביעת טיפול מתאים. על כן כיום טמ"ל נחשבת שיטת ההדמיה המועדפת בחולים עם חשד לחריגות העורקים הכליליים⁷⁰⁻⁷².

בדיקת הטמ"ל אפשרה גם להרחיב את המידע שיש לנו על השכיחות והמאפיינים של מגוון מומי לב מולדים אחרים כגון מהלך עורקים כליליים בתוך השריר (myocardial bridging). למידע בנוגע למהלך עורקים כליליים בתוך השריר

משמעות בעיקר בכל הקשור לאבחנת הסיבה לכאב בחזה או למיפוי לב עם פגמי מילוי קלים, אך גם לתכנון CABG או לעיתים כשמתוכנן ניתוח לטיפול בבעיה.⁷³⁻⁷⁵ לטמ"ל כמו ל-CMR תפקיד חשוב בהערכת מומים מולדים במגוון מצבים נוספים, ובייחוד כש-CMR אינו זמין.⁷⁶

הערכה טרום ניתוחית

- לשלילת מחלה כללית חסימתית בחולים עם סיכון נמוך עד בינוני לקיום מחלה כללית חסימתית, לפני ניתוח במסתמי הלב או לתיקון בעיות מבניות קרדיאליות.

הסיכון של חולים לאירוע כלילי סביב ניתוחי נקבע בין היתר עפ"י הערכת היקף מחלה כללית כפי שהודגמה בצנתור פולשני או בהדמיה לא פולשנית (עד כה ע"י אקו במאמץ / מיפוי). הערך המנבא הגבוה השלילי של טמ"ל מאפשר לזהות באופן ישיר חולים בהם אין מחלה כללית כלל או שהיקפה מזערי ואינו דורש התערבות. יתרון נוסף של בדיקת הטמ"ל הוא ביכולת להעריך את מבנה הלב ואת תפקודו. על כן ניתן לומר שטמ"ל יכול לשמש להערכה כללית לפני ניתוח (שאינו ניתוח מעקפים)^{77,78}. עובדה זו הודגמה בעיקר בחולים עם מחלה מסתמית המועמדים לניתוח לתיקון / החלפת מסתם. בחולים אלה יש להעריך את היקף וחומרת המחלה הכללית על מנת להחליט על הצורך בהשתלת מעקפים. בנסיבות שתוארו לעיל ניתן לשקול בחיוב טמ"ל כחלופה לצנתור פולשני בעיקר כשמדובר בחולים צעירים יחסית (גיל נמוך מ-65 שנים) עם מחלה של המסתם האאורטלי. מגבלת הגיל נובעת מנטייה לפתח הסתיידויות מרובות בכלי הדם הכליליים עם העלייה בגיל ובייחוד בחולים מבוגרים הסובלים בנוסף מהסתיידויות משמעותיות במסתם האאורטלי או בטבעת המסתם המיטרלי. בחולים אלו הצנתור הכלילי "הפולשני" ממשיך להוות את בדיקת הבחירה ולא טמ"ל. לאחרונה נוסף עניין מיוחד בטמ"ל לשם תכנון והערכת חולים לפני ואחרי התקנה מלעורית של מסתם אאורטלי מלאכותי (TAVI). טמ"ל ככלל נועדה לסייע בדימות והערכה של אבי העורקים על כל חלקיו והעורקים המובילים דם לגפיים (התחתונות או העליונות) באזור כניסת הצנתר עליו מובל המסתם בדרכו לאתר ההשתלה. בהקשר זה טמ"ל יכולה גם לסייע בהדגמה מפורטת של המסתם האאורטלי, מרכיבי שורש אבי העורקים, והעורקים הכליליים.⁷⁹⁻⁸⁸

בחולים עם קרדיומיופתיה מסיבה לא ברורה

- הדגמה של עורקים כליליים בחולים עם חשד קליני לקרדיומיופתיה לא איסכמית חדשה New onset non- ischemic cardiomyopathy.

אי ספיקת לב חדשה / קרדיומיופתיה אידיופטית – מאחר ומחלת לב כללית היא אחת הסיבות השכיחות לפגיעה בתפקוד שריר הלב, צנתור פולשני אבחנתי מהווה חלק מהליך האבחון. תודות ליכולת זיהוי טובה של היקף וחומרת המחלה הכללית ולערך ניבוי שלילי מצוין ניתן להיעזר בטמ"ל כחלופה טובה לצנתור פולשני בקבוצת חולים עם חשד לקרדיומיופטיה לא-איסכמית לשלילת מחלה כללית משמעותית כגורם לקרדיומיופתיה.^{89,90}

שונות

- כאשר לא ניתן לבצע בדיקת דימות מיטבית של העורקים הכליליים באמצעות בדיקת צנתור לב מסיבות טכניות או בטיחותיות או בשל היעדר מידע אבחנתי מלא בצנתור כלי דם כליליים (סעיף א' בהמלצת משרד הבריאות משנת 2005).

התוויה זו אומצה גם בנייר העמדה הנוכחי כדי לאפשר לקלינאי או למצנתר לבחור בטמ"ל במקרים יוצאי דופן בהם צנתור כלילי קונבנציונאלי אינו רצוי בחולים מסוימים או אינו מספק מידע מיטבי על האנטומיה של העורקים הכליליים.

אבחון וכימות טרשת עורקים מסוידת – Calcium Score (ללא חומר ניגוד ובמינון קרינה נמוכה)

- בדיקת Coronary calcium score, בנבדקים אסימפטומטיים עם סיכון בינוני (10-20% למוות לבבי או אוטם שריר הלב בעשר שנים עפ"י מדד פרמינגהם), לצורך אופטימיזציה של Risk Stratification והתווית טיפול מניעתי ראשוני.

ככלל, הסתיידות העורקים הכליליים הינה פתוגנומונית לנוכחות טרשת. כמות הנגעים המסוידים עולה עם הגיל והיווצרותם מואצת בגברים מעל גיל 50 ובנשים מעל גיל 60. בדיקת טמ"ל ללא הזרקת חומר ניגודי מאפשרת כימות מהיר של ההסתיידויות בכל נגע טרשתי. ניתן לסכם את מספר הנגעים וכמותם בכל כלי ולקבל סיכום אוטומטי של סך הכמות במדד הנקרא Total calcium score. מדד זה מקובל על כל גורמי הבריאות המכתיבים המלצות רפואיות כמדד המשקף נוכחות וכמות טרשת בעורקים הכליליים⁹¹.

להלן סיכום של יתרונות השיטה על פני מדדי הערכת הסיכון הנוכחיים המבוססים על גורמי סיכון :

1. הסתיידות העורקים הכליליים הינו המדד האבחנתי היחיד לטרשת כלילית שניתן לכימות בלתי פולשני באמצעים פשוטים.
2. קיימת הסכמה המבוססת על 20 שנות מחקר ולמעלה מ 1000 פרסומים, כי הבדיקה מאפשרת אבחנה של המחלה הטרשתית הכלילית בשלביה התת-קליניים המהווים את היעד העיקרי לטיפול במניעה ראשונית.
3. הידע האמין שהצטבר בעשור האחרון⁹¹⁻¹⁰⁶ הביאו את קובעי המדיניות הרפואית בארה"ב ובאירופה להסכמה שהבדיקה מועילה להערכת סיכון בנבדקים רבים המוגדרים כסיכון בינוני עפ"י מדד פרמינגהם. כך ניתן לסווג חולים אלו לקבוצת סיכון נמוך (כשני שלישים מהקבוצה), או לקבוצת סיכון גבוה יותר (15% מהקבוצה) ולשנות בכך החלטות טיפוליות של מתן סטטינים ויעדי טיפול.
4. העדר הסתיידות כלילית בנבדקים אתסמיניים מצביע על פרוגנוזה מצוינת עם תמותה שנתית הן מכל הסיבות והן מסיבות לבביות של % 0.6-0.05¹⁰³.
5. הבדיקה נגישה וקלה לביצוע ושיטת הכימות אמינה ורפרודיוסיבילית.

בהסתמך על הידע הקיים הוצע ע"י קבוצת חוקרים מארה"ב להשתמש בבדיקת ה טמ"ל להסתיידות העורקים הכליליים כבדיקה מרכזית לריבוד הסיכון בכלל האוכלוסייה ולהסתמך על תוצאותיה בקביעת יעדי טיפול של LDL¹⁰⁴. למרות יתרונות השיטה המאפשרת להתגבר על מגבלות גורמי הסיכון המקובלים בחיזוי מציאות טרשת עורקים וכמותה, אין עדיין מידע המתקף גישה זו.

יש לזכור שרבידים טרשתיים בעורקים הכליליים מסוידים ובלתי מסוידים שכיחים מאד באוכלוסייה הבוגרת וכי עדיין אין שיטה בלתי פולשנית טובה לאפיון הרבידים הטרשתיים המועדים להוות רקע לאירוע כלילי חד (Vulnerable plaque). מסיבה זו איננו ממליצים ליישמה כבדיקת סקר לכלל האוכלוסייה אלא לאמץ את ההנחיות הקיימות ולצמצמה לנבדקים בסיכון בינוני בהם קיימת התלבטות לשאלת הצורך בהתחלת טיפול בסטטינים וקביעת יעדי הטיפול.

לסיכום, הידע שהצטבר מהעבודות המחקריות בשנים האחרונות מאפשר בחירה מושכלת יותר של התוויות לטמ"ל. אנו מקווים שמסמך עמדה זה יסייע לרופא המפנה והמפענח כמו גם לקובעי מדיניות בתחום הרפואה. למען הסר ספק, עלינו להבהיר כי כל 19 הקריטריונים הנ"ל אינם הנחיות קליניות קשיחות, אלא המלצות מושכלות של חברי הוועדה (appropriateness criteria). המלצות אלו מבוססות על הספרות הרפואית הקיימת בזמן כתיבת מסמך זה, ועל הניסיון הקליני שהצטבר עפ"י מיטב הבנתם של חברי הוועדה. המלצות אלה אינן מחייבות או שוללות בצוע בדיקת טמ"ל, מאחר וניסיון השנים האחרונות הראה שהמלצות מסוג זה לשימוש בטמ"ל אמנם מסייעות לרופא, אך נדרש שיקול דעת רפואי בהחלטה על ביצוע הבדיקה בחיי היום יום¹⁰⁶.

טבלה 1: התוויות מומלצות כמתאימות לביצוע טומוגרפיה ממוחשבת של הלב

ברור אמבולטורי של כאבי חזה	
1	בנבדק בסבירות נמוכה עד בינונית למחלה כלילית חסימתית ובפרט אם אינו מסוגל לבצע מאמץ אבחנתי ו/או בנוכחות תרשים א.ק.ג שמקשה על פענוח (כגון CLBBB, שינויי רפולריזציה).
2	בנבדק עם מבחן מאמץ, מיפוי או אקו לב במאמץ בלתי החלטיים או שאינם ניתנים לפענוח, אך נדרש המשך בירור.
3	אבחון חסימות של מעקפים כליליים בחולים לאחר ניתוח מעקפים (CABG) הסובלים מכאבי חזה לא טיפוסיים.
כאבי חזה חדים (Acute chest pain)	
4	כאבים בחזה בנבדק בסבירות נמוכה עד בינונית למחלה כלילית חסימתית, ללא שינויים איסכמיים בתרשים הא.ק.ג וללא עליה בסמני הלב בדם בבדיקות עוקבות.
5	לשליטת מחלה כלילית, תסחיף ריאתי ודיסקציה אאורטלית בהסתמנות חדה (Triple rule-out) כשקיימת אבחנה מבלת עם חשד קליני סביר לבעיות הני"ל.
צורך בהערכה קרדיאלית במצבים קליניים שונים	
6	הדגמה של עורקים כליליים בחולים עם חשד קליני לקרדיומיופטיה לא איסכמית חדשה New-onset non-ischemic cardiomyopathy
7	לצורך אבחון משלים של המהלך האנטומי של עורק השד הפנימי (IMA) ומעקפים כליליים לפני ניתוח חוזר REDO, או ניתוח מסתמים בחולה לאחר CABG, על מנת להעריך את מרחק המעקפים מן הסטרנום וכן מידת קרבת חדר ימין לסטרנום.
8	לשליטת מחלה כלילית חסימתית בחולים עם סיכון נמוך עד בינוני לקיום מחלה כלילית חסימתית, לפני ניתוח במסתמי הלב או לתיקון בעיות מבניות קרדיאליות.
9	כאשר לא ניתן לבצע בדיקת דימות מיטבית של העורקים הכליליים באמצעות בדיקת צנתור לב מסיבות טכניות או בטיחותיות או בשל היעדר מידע אבחנתי מלא בצנתור כלי דם כליליים (סעיף א' בהמלצת משרד הבריאות משנת 2005).
10	כאלטרנטיבה לא פולשנית לביצוע מעקב לאחר הכנסת תומכן בעורק שמאלי ראשי (Left main coronary artery).
אבחון תחלואה לבבית מבנית או בכלי הדם הגדולים	
11	חשד לאנומליות של העורקים הכליליים.
12	הערכה של מומי לב מולדים כולל אנומליות של מהלך עורקים כליליים, כלי דם גדולים, חדרי לב ומסתמים, כאשר ההדמיה באקו לב וב CMR מוגבלת.
13	בירור משלים של גוש בלב (גידול או קריש דם) כשההדמיה באקו לב (TTE או TEE) ותהודה מגנטית של הלב (CMR) מוגבלת טכנית או אינה אבחנתית.
14	הערכת קרום הלב (מסה פריקרדיאלית, constrictive pericarditis, או סיבוכים לאחר ניתוחי לב) כשההדמיה באקו לב (TTE או TEE) ובדיקת תהודה מגנטית של הלב (CMR) מוגבלת טכנית או אינה אבחנתית.
15	הערכת ורידי הריאה בחולים עם פרפור פרוזדורים לפני בצוע צריבה של ורידים אלה (RF ablation), או בחשד קליני לסיבוך לאחר הפעולה.
16	מיפוי הורידים הכליליים טרם השתלת קוצב דו חדרי.
17	חשד למעורבות מוצא העורקים הכליליים במסגרת הערכה של מפרצת אאורטלית ו/או דיסקציה של האאורטה חזית.
18	הערכת מורפולגיית ותפקוד חדר ימין כאשר ההדמיה באקו לב (TTE או TEE) מוגבלת ו CMR אינו זמין.
אבחון וכימות טרשת עורקים מסוידת – Calcium Score (ללא חומר ניגוד ובמינון קרינה נמוכה)	
19	בדיקת coronary calcium score בנבדקים אסימפטומים עם סיכון בינוני (10-20% למוות לבבי או אוטם שריר הלב בעשר שנים עפ"י מדד פרמינגהם) לצורך אופטימיזציה של risk stratification והתווית טיפול מניעתית ראשוני.

1. Bastarrika G, Lee YS, Huda W, Ruzsics B, Costello P, Schoepf UJ. CT of coronary artery disease. *Radiology*. Nov 2009;253(2):317-338.
2. Gibbons RJ, Araoz PA, Williamson EE. The year in cardiac imaging. *J Am Coll Cardiol*. Feb 2;55(5):483-495.
3. Schoenhagen P, Stillman AE, Garcia MJ, Halliburton SS, Tuzcu EM, Nissen SE, Modic MT, Lytle BW, Topol EJ, White RD. Coronary artery imaging with multidetector computed tomography: a call for an evidence-based, multidisciplinary approach. *Am Heart J*. May 2006;151(5):945-948.
4. Carbonaro S, Villines TC, Hausleiter J, Devine PJ, Gerber TC, Taylor AJ. International, multidisciplinary update of the 2006 Appropriateness Criteria for cardiac computed tomography. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. Jul-Aug 2009;3(4):224-232.
5. Schroeder S, Achenbach S, Bengel F, Burgstahler C, Cademartiri F, de Feyter P, George R, Kaufmann P, Kopp AF, Knuuti J, Ropers D, Schuijf J, Tops LF, Bax JJ. Cardiac computed tomography: indications, applications, limitations, and training requirements: report of a Writing Group deployed by the Working Group Nuclear Cardiology and Cardiac CT of the European Society of Cardiology and the European Council of Nuclear Cardiology. *Eur Heart J*. Feb 2008;29(4):531-556.
6. Tsai IC, Choi BW, Chan C, Jinzaki M, Kitagawa K, Yong HS, Yu W. ASCI 2010 appropriateness criteria for cardiac computed tomography: a report of the Asian Society of Cardiovascular Imaging cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging guideline Working Group. *Int J Cardiovasc Imaging*. Feb;26 Suppl 1:1-15.
7. *Israel Heart Society and Israel Society of Radiology consensus document* October 2005.
8. Hendel RC, Patel MR, Kramer CM, Poon M, Carr JC, Gerstad NA, Gillam LD, Hodgson JM, Kim RJ, Lesser JR, Martin ET, Messer JV, Redberg RF, Rubin GD, Rumsfeld JS, Taylor AJ, Weigold WG, Woodard PK, Brindis RG, Douglas PS, Peterson ED, Wolk MJ, Allen JM. ACCF/ACR/SCCT/SCMR/ASNC/NASCI/SCAI/SIR 2006 appropriateness criteria for cardiac computed tomography and cardiac magnetic resonance imaging: a report of the American College of Cardiology Foundation Quality Strategic Directions Committee Appropriateness Criteria Working Group, American College of Radiology, Society of Cardiovascular Computed Tomography, Society for Cardiovascular Magnetic Resonance, American Society of Nuclear Cardiology, North American Society for Cardiac Imaging, Society for Cardiovascular Angiography and Interventions, and Society of Interventional Radiology. *J Am Coll Cardiol*. Oct 3 2006;48(7):1475-1497.
9. Budoff MJ, Achenbach S, Blumenthal RS, Carr JJ, Goldin JG, Greenland P, Guerci AD, Lima JA, Rader DJ, Rubin GD, Shaw LJ, Wiegers SE. Assessment of coronary artery disease by cardiac computed tomography: a scientific statement from the American Heart Association Committee on Cardiovascular Imaging and Intervention, Council on Cardiovascular Radiology and Intervention, and Committee on Cardiac Imaging, Council on Clinical Cardiology. *Circulation*. Oct 17 2006;114(16):1761-1791.

10. Mark DB, Berman DS, Budoff MJ, Carr JJ, Gerber TC, Hecht HS, Hlatky MA, Hodgson JM, Lauer MS, Miller JM, Morin RL, Mukherjee D, Poon M, Rubin GD, Schwartz RS. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SAIP/SCAI/SCCT 2010 Expert Consensus Document on Coronary Computed Tomographic Angiography. A Report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *Circulation*. May 17.
11. Boxt LM, Lipton MJ, Kwong RY, Rybicki F, Clouse ME. Computed tomography for assessment of cardiac chambers, valves, myocardium and pericardium. *Cardiol Clin*. Nov 2003;21(4):561-585.
12. Schwartzman D, Lacomis J, Wigginton WG. Characterization of left atrium and distal pulmonary vein morphology using multidimensional computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. Apr 16 2003;41(8):1349-1357.
13. Coles DR, Smail MA, Negus IS, Wilde P, Oberhoff M, Karsch KR, Baumbach A. Comparison of radiation doses from multislice computed tomography coronary angiography and conventional diagnostic angiography. *J Am Coll Cardiol*. May 2 2006;47(9):1840-1845.
14. Earls JP. How to use a prospective gated technique for cardiac CT. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. Jan-Feb 2009;3(1):45-51.
15. Earls JP, Berman EL, Urban BA, Curry CA, Lane JL, Jennings RS, McCulloch CC, Hsieh J, Londt JH. Prospectively gated transverse coronary CT angiography versus retrospectively gated helical technique: improved image quality and reduced radiation dose. *Radiology*. Mar 2008;246(3):742-753.
16. Gutstein A, Dey D, Cheng V, Wolak A, Gransar H, Suzuki Y, Friedman J, Thomson LE, Hayes S, Pimentel R, Paz W, Slomka P, Le Meunier L, Germano G, Berman DS. Algorithm for radiation dose reduction with helical dual source coronary computed tomography angiography in clinical practice. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. Sep-Oct 2008;2(5):311-322.
17. Gutstein A, Wolak A, Lee C, Dey D, Ohba M, Suzuki Y, Cheng V, Gransar H, Suzuki S, Friedman J, Thomson LE, Hayes S, Pimentel R, Paz W, Slomka P, Berman DS. Predicting success of prospective and retrospective gating with dual-source coronary computed tomography angiography: development of selection criteria and initial experience. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. Mar-Apr 2008;2(2):81-90.
18. Hausleiter J, Meyer T, Hermann F, Hadamitzky M, Krebs M, Gerber TC, McCollough C, Martinoff S, Kastrati A, Schomig A, Achenbach S. Estimated radiation dose associated with cardiac CT angiography. *Jama*. Feb 4 2009;301(5):500-507.
19. Achenbach S, Marwan M, Ropers D, Schepis T, Pflederer T, Anders K, Kuettner A, Daniel WG, Uder M, Leil MM. Coronary computed tomography angiography with a consistent dose below 1 mSv using prospectively electrocardiogram-triggered high-pitch spiral acquisition
10.1093/eurheartj/ehp470. *European Heart Journal*. February 2010 2010;31(3):340-346.
20. Einstein AJ, Moser KW, Thompson RC, Cerqueira MD, Henzlova MJ. Radiation dose to patients from cardiac diagnostic imaging. *Circulation*. Sep 11 2007;116(11):1290-1305.

21. Klass O, Walker M, Siebach A, Stuber T, Feuerlein S, Juchems M, Hoffmann MH. Prospectively gated axial CT coronary angiography: comparison of image quality and effective radiation dose between 64- and 256-slice CT. *Eur Radiol*. Nov 14 2009.
22. Mori S, Nishizawa K, Kondo C, Ohno M, Akahane K, Endo M. Effective doses in subjects undergoing computed tomography cardiac imaging with the 256-multislice CT scanner. *Eur J Radiol*. Mar 2008;65(3):442-448.
23. Rybicki FJ, Otero HJ, Steigner ML, Vorobiof G, Nallamshetty L, Mitsouras D, Ersoy H, Mather RT, Judy PF, Cai T, Coyner K, Schultz K, Whitmore AG, Di Carli MF. Initial evaluation of coronary images from 320-detector row computed tomography. *Int J Cardiovasc Imaging*. Jun 2008;24(5):535-546.
24. Efsthopoulos EP, Kelekis NL, Pantos I, Broutzos E, Argentos S, Grebac J, Ziaka D, Katriotis DG, Seimenis I. Reduction of the estimated radiation dose and associated patient risk with prospective ECG-gated 256-slice CT coronary angiography. *Phys Med Biol*. Sep 7 2009;54(17):5209-5222.
25. Johnson TR, Nikolaou K, Busch S, Leber AW, Becker A, Wintersperger BJ, Rist C, Knez A, Reiser MF, Becker CR. Diagnostic accuracy of dual-source computed tomography in the diagnosis of coronary artery disease. *Invest Radiol*. Oct 2007;42(10):684-691.
26. Lin CJ, Hsu JC, Lai YJ, Wang KL, Lee JY, Li AH, Chu SH. Diagnostic accuracy of dual-source CT coronary angiography in a population unselected for degree of coronary artery calcification and without heart rate modification. *Clin Radiol*. Feb;65(2):109-117.
27. Tsiflikas I, Brodoefel H, Reimann AJ, Thomas C, Ketelsen D, Schroeder S, Kopp AF, Claussen CD, Burgstahler C, Heuschmid M. Coronary CT angiography with dual source computed tomography in 170 patients. *Eur J Radiol*. Mar 2 2009.
28. Lin EC. Coronary computed tomography angiography: principles of contrast material administration. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. Dec 2007;1(3):162-165.
29. Pryor DB, Shaw L, McCants CB, Lee KL, Mark DB, Harrell FE, Jr., Muhlbaier LH, Califf RM. Value of the history and physical in identifying patients at increased risk for coronary artery disease. *Ann Intern Med*. Jan 15 1993;118(2):81-90.
30. Fox K, Garcia MA, Ardissino D, Buszman P, Camici PG, Crea F, Daly C, De Backer G, Hjelm Dahl P, Lopez-Sendon J, Marco J, Morais J, Pepper J, Sechtem U, Simoons M, Thygesen K, Priori SG, Blanc JJ, Budaj A, Camm J, Dean V, Deckers J, Dickstein K, Lekakis J, McGregor K, Metra M, Osterspey A, Tamargo J, Zamorano JL. Guidelines on the management of stable angina pectoris: executive summary: The Task Force on the Management of Stable Angina Pectoris of the European Society of Cardiology. *Eur Heart J*. Jun 2006;27(11):1341-1381.
31. Mowatt G, Cook JA, Hillis GS, Walker S, Fraser C, Jia X, Waugh N. 64-Slice computed tomography angiography in the diagnosis and assessment of coronary artery disease: systematic review and meta-analysis. *Heart*. Nov 2008;94(11):1386-1393.
32. Rubinshtein R, Halon DA, Gaspar T, Schliamser JE, Yaniv N, Ammar R, Flugelman MY, Peled N, Lewis BS. Usefulness of 64-slice multidetector computed tomography in diagnostic triage of patients with chest pain and negative or nondiagnostic exercise treadmill test result. *Am J Cardiol*. Apr 1 2007;99(7):925-929.

33. Menon M, Lesser JR, Hara H, Birkett R, Knickelbine T, Longe T, Flygenring B, Henry J, Schwartz R. Multidetector CT coronary angiography for patient triage to invasive coronary angiography: Performance and cost in ambulatory patients with equivocal or suspected inaccurate noninvasive stress tests. *Catheter Cardiovasc Interv.* Mar 1 2009;73(4):497-502.
34. Nieman K, Galema T, Weustink A, Neefjes L, Moelker A, Musters P, de Visser R, Mollet N, Boersma H, de Feijter PJ. Computed tomography versus exercise electrocardiography in patients with stable chest complaints: real-world experiences from a fast-track chest pain clinic. *Heart.* Oct 2009;95(20):1669-1675.
35. Mollet NR, Cademartiri F, Van Mieghem C, Meijboom B, Pugliese F, Runza G, Baks T, Dikkeboer J, McFadden EP, Freericks MP, Kerker JP, Zoet SK, Boersma E, Krestin GP, de Feyter PJ. Adjunctive value of CT coronary angiography in the diagnostic work-up of patients with typical angina pectoris. *Eur Heart J.* Aug 2007;28(15):1872-1878.
36. Rubinshtein R, Halon DA, Gaspar T, Jaffe R, Karkabi B, Flugelman MY, Kogan A, Shapira R, Peled N, Lewis BS. Usefulness of 64-slice cardiac computed tomographic angiography for diagnosing acute coronary syndromes and predicting clinical outcome in emergency department patients with chest pain of uncertain origin. *Circulation.* Apr 3 2007;115(13):1762-1768.
37. Hoffmann U, Bamberg F, Chae CU, Nichols JH, Rogers IS, Seneviratne SK, Truong QA, Cury RC, Abbara S, Shapiro MD, Moloo J, Butler J, Ferencik M, Lee H, Jang IK, Parry BA, Brown DF, Udelson JE, Achenbach S, Brady TJ, Nagurney JT. Coronary computed tomography angiography for early triage of patients with acute chest pain: the ROMICAT (Rule Out Myocardial Infarction using Computer Assisted Tomography) trial. *J Am Coll Cardiol.* May 5 2009;53(18):1642-1650.
38. Goldstein JA, Gallagher MJ, O'Neill WW, Ross MA, O'Neil BJ, Raff GL. A randomized controlled trial of multi-slice coronary computed tomography for evaluation of acute chest pain. *J Am Coll Cardiol.* Feb 27 2007;49(8):863-871.
39. Rubinshtein R, Halon DA, Gaspar T, Jaffe R, Goldstein J, Karkabi B, Flugelman MY, Kogan A, Shapira R, Peled N, Lewis BS. Impact of 64-slice cardiac computed tomographic angiography on clinical decision-making in emergency department patients with chest pain of possible myocardial ischemic origin. *Am J Cardiol.* Nov 15 2007;100(10):1522-1526.
40. Raff G, Chinnaiyan K, Berman D, Hoffmann U, Achenbach S, Shaw L, Abidov A, O'Neil B, Lesser J, Mikati I, Valeti U, Shen M, Goldstein J. Coronary Computed Tomography for Systematic Triage of Acute Chest Pain Patients to Treatment - The CT-STAT Trial. Paper presented at: AHA scientific sessions; November 2009, 2009; Orlando, FL.
41. Restrepo CS, Largoza A, Lemos DF, Diethelm L, Koshy P, Castillo P, Gomez R, Moncada R, Pandit M. CT and MR imaging findings of benign cardiac tumors. *Curr Probl Diagn Radiol.* Jan-Feb 2005;34(1):12-21.
42. Oyama N, Komuro K, Nambu T, Manning WJ, Miyasaka K. Computed tomography and magnetic resonance imaging of the pericardium: anatomy and pathology. *Magn Reson Med Sci.* Dec 15 2004;3(3):145-152.

43. van Beek EJ, Stolpen AH, Khanna G, Thompson BH. CT and MRI of pericardial and cardiac neoplastic disease. *Cancer Imaging*. 2007;7:19-26.
44. Jongbloed MR, Dirksen MS, Bax JJ, Boersma E, Geleijns K, Lamb HJ, van der Wall EE, de Roos A, Schalij MJ. Atrial fibrillation: multi-detector row CT of pulmonary vein anatomy prior to radiofrequency catheter ablation--initial experience. *Radiology*. Mar 2005;234(3):702-709.
45. Kistler PM, Rajappan K, Jahngir M, Earley MJ, Harris S, Abrams D, Gupta D, Liew R, Ellis S, Sporton SC, Schilling RJ. The impact of CT image integration into an electroanatomic mapping system on clinical outcomes of catheter ablation of atrial fibrillation. *J Cardiovasc Electrophysiol*. Oct 2006;17(10):1093-1101.
46. Packer DL, Keelan P, Munger TM, Breen JF, Asirvatham S, Peterson LA, Monahan KH, Hauser MF, Chandrasekaran K, Sinak LJ, Holmes DR, Jr. Clinical presentation, investigation, and management of pulmonary vein stenosis complicating ablation for atrial fibrillation. *Circulation*. Feb 8 2005;111(5):546-554.
47. Holmes DR, Jr., Monahan KH, Packer D. Pulmonary vein stenosis complicating ablation for atrial fibrillation: clinical spectrum and interventional considerations. *JACC Cardiovasc Interv*. Apr 2009;2(4):267-276.
48. Martinez MW, Kirsch J, Williamson EE, Syed IS, Feng D, Ommen S, Packer DL, Brady PA. Utility of nongated multidetector computed tomography for detection of left atrial thrombus in patients undergoing catheter ablation of atrial fibrillation. *JACC Cardiovasc Imaging*. Jan 2009;2(1):69-76.
49. Van de Veire NR, Schuijf JD, De Sutter J, Devos D, Bleeker GB, de Roos A, van der Wall EE, Schalij MJ, Bax JJ. Non-invasive visualization of the cardiac venous system in coronary artery disease patients using 64-slice computed tomography. *J Am Coll Cardiol*. Nov 7 2006;48(9):1832-1838.
50. Mlynarski R, Sosnowski M, Wlodyka A, Kargul W, Tendera M. A user-friendly method of cardiac venous system visualization in 64-slice computed tomography. *Pacing Clin Electrophysiol*. Mar 2009;32(3):323-329.
51. Erbel R, Alfonso F, Boileau C, Dirsch O, Eber B, Haverich A, Rakowski H, Struyven J, Radegran K, Sechtem U, Taylor J, Zollikofer C, Klein WW, Mulder B, Providencia LA. Diagnosis and management of aortic dissection. *Eur Heart J*. Sep 2001;22(18):1642-1681.
52. Guo YK, Gao HL, Zhang XC, Wang QL, Yang ZG, Ma ES. Accuracy and reproducibility of assessing right ventricular function with 64-section multi-detector row CT: Comparison with magnetic resonance imaging. *Int J Cardiol*. Nov 22 2008.
53. Sugeng L, Mor-Avi V, Weinert L, Niel J, Ebner C, Steringer-Mascherbauer R, Bartolles R, Baumann R, Schummers G, Lang RM, Nesser HJ. Multimodality comparison of quantitative volumetric analysis of the right ventricle. *JACC Cardiovasc Imaging*. Jan;3(1):10-18.
54. Anand DV, Lim E, Lipkin D, Lahiri A. Evaluation of graft patency by computed tomographic angiography in symptom-free post-coronary artery bypass surgery patients. *J Nucl Cardiol*. Mar-Apr 2008;15(2):201-208.

55. Meyer TS, Martinoff S, Hadamitzky M, Will A, Kastrati A, Schomig A, Hausleiter J. Improved noninvasive assessment of coronary artery bypass grafts with 64-slice computed tomographic angiography in an unselected patient population. *J Am Coll Cardiol*. Mar 6 2007;49(9):946-950.
56. Pache G, Saueressig U, Frydrychowicz A, Foell D, Ghanem N, Kotter E, Geibel-Zehender A, Bode C, Langer M, Bley T. Initial experience with 64-slice cardiac CT: non-invasive visualization of coronary artery bypass grafts. *Eur Heart J*. Apr 2006;27(8):976-980.
57. Ropers D, Pohle FK, Kuettner A, Pflederer T, Anders K, Daniel WG, Bautz W, Baum U, Achenbach S. Diagnostic accuracy of noninvasive coronary angiography in patients after bypass surgery using 64-slice spiral computed tomography with 330-ms gantry rotation. *Circulation*. Nov 28 2006;114(22):2334-2341; quiz 2334.
58. Weustink AC, Nieman K, Pugliese F, Mollet NR, Meijboom BW, van Mieghem C, ten Kate GJ, Cademartiri F, Krestin GP, de Feyter PJ. Diagnostic accuracy of computed tomography angiography in patients after bypass grafting: comparison with invasive coronary angiography. *JACC Cardiovasc Imaging*. Jul 2009;2(7):816-824.
59. Aviram G, Sharony R, Kramer A, Neshet N, Loberman D, Ben-Gal Y, Graif M, Uretzky G, Mohr R. Modification of surgical planning based on cardiac multidetector computed tomography in reoperative heart surgery. *Ann Thorac Surg*. Feb 2005;79(2):589-595.
60. Akhtar NJ, Markowitz AH, Gilkeson RC. Multidetector computed tomography in the preoperative assessment of cardiac surgery patients. *Radiol Clin North Am*. Jan;48(1):117-139.
61. Rixe J, Achenbach S, Ropers D, Baum U, Kuettner A, Ropers U, Bautz W, Daniel WG, Anders K. Assessment of coronary artery stent restenosis by 64-slice multi-detector computed tomography. *Eur Heart J*. Nov 2006;27(21):2567-2572.
62. Andreini D, Pontone G, Bartorelli AL, Trabatttoni D, Mushtaq S, Bertella E, Annoni A, Formenti A, Cortinovis S, Montorsi P, Veglia F, Ballerini G, Pepi M. Comparison of feasibility and diagnostic accuracy of 64-slice multidetector computed tomographic coronary angiography versus invasive coronary angiography versus intravascular ultrasound for evaluation of in-stent restenosis. *Am J Cardiol*. May 15 2009;103(10):1349-1358.
63. Halon DA, Gaspar T, Adawi S, Peled N, Lewis BS. Coronary stent assessment on multidetector computed tomography: source and predictors of image distortion. *Int J Cardiol*. Aug 1 2008;128(1):62-68.
64. Hecht HS, Polena S, Jelmin V, Jimenez M, Bhatti T, Parikh M, Panagopoulos G, Roubin G. Stent gap by 64-detector computed tomographic angiography relationship to in-stent restenosis, fracture, and overlap failure. *J Am Coll Cardiol*. Nov 17 2009;54(21):1949-1959.
65. Pflederer T, Marwan M, Renz A, Bachmann S, Ropers D, Kuettner A, Anders K, Bamberg F, Daniel WG, Achenbach S. Noninvasive assessment of coronary in-stent restenosis by dual-source computed tomography. *Am J Cardiol*. Mar 15 2009;103(6):812-817.
66. Wykrzykowska JJ, Arbab-Zadeh A, Godoy G, Miller JM, Lin S, Vavere A, Paul N, Niinuma H, Hoe J, Brinker J, Khosa F, Sarwar S, Lima J, Clouse ME. Assessment of in-stent

- restenosis using 64-MDCT: analysis of the CORE-64 Multicenter International Trial. *AJR Am J Roentgenol.* Jan;194(1):85-92.
67. Zhao L, Zhang Z, Fan Z, Yang L, Du J. Prospective versus retrospective ECG gating for dual source CT of the coronary stent: Comparison of image quality, accuracy, and radiation dose. *Eur J Radiol.* Sep 22 2009.
 68. Gaspar T, Halon DA, Lewis BS, Adawi S, Schliamser JE, Rubinshtein R, Flugelman MY, Peled N. Diagnosis of coronary in-stent restenosis with multidetector row spiral computed tomography. *J Am Coll Cardiol.* Oct 18 2005;46(8):1573-1579.
 69. Van Mieghem CA, Cademartiri F, Mollet NR, Malagutti P, Valgimigli M, Meijboom WB, Pugliese F, McFadden EP, Ligthart J, Runza G, Bruining N, Smits PC, Regar E, van der Giessen WJ, Sianos G, van Domburg R, de Jaegere P, Krestin GP, Serruys PW, de Feyter PJ. Multislice spiral computed tomography for the evaluation of stent patency after left main coronary artery stenting: a comparison with conventional coronary angiography and intravascular ultrasound. *Circulation.* Aug 15 2006;114(7):645-653.
 70. Datta J, White CS, Gilkeson RC, Meyer CA, Kansal S, Jani ML, Arildsen RC, Read K. Anomalous coronary arteries in adults: depiction at multi-detector row CT angiography. *Radiology.* Jun 2005;235(3):812-818.
 71. Schmitt R, Froehner S, Brunn J, Wagner M, Brunner H, Cherevatyy O, Gietzen F, Christopoulos G, Kerber S, Fellner F. Congenital anomalies of the coronary arteries: imaging with contrast-enhanced, multidetector computed tomography. *Eur Radiol.* Jun 2005;15(6):1110-1121.
 72. Shi H, Aschoff AJ, Brambs HJ, Hoffmann MH. Multislice CT imaging of anomalous coronary arteries. *Eur Radiol.* Dec 2004;14(12):2172-2181.
 73. Atar E, Kornowski R, Fuchs S, Naftali N, Belenky A, Bachar GN. Prevalence of myocardial bridging detected with 64-slice multidetector coronary computed tomography angiography in asymptomatic adults. *J Cardiovasc Comput Tomogr.* Oct 2007;1(2):78-83.
 74. Konen E, Goitein O, Sternik L, Eshet Y, Shemesh J, Di Segni E. The prevalence and anatomical patterns of intramuscular coronary arteries: a coronary computed tomography angiographic study. *J Am Coll Cardiol.* Feb 6 2007;49(5):587-593.
 75. Martin M, Romero Tarin E, Luyando LH, Rondan J, Morales C. Myocardial bridging: light in the tunnel. *Int J Cardiovasc Imaging.* Aug 2009;25(6):555-557.
 76. Sparrow P, Merchant N, Provost Y, Doyle D, Nguyen E, Paul N. Cardiac MRI and CT features of inheritable and congenital conditions associated with sudden cardiac death. *Eur Radiol.* Feb 2009;19(2):259-270.
 77. Russo V, Gostoli V, Lovato L, Montalti M, Marzocchi A, Gavelli G, Branzi A, Di Bartolomeo R, Fattori R. Clinical value of multidetector CT coronary angiography as a preoperative screening test before non-coronary cardiac surgery. *Heart.* Dec 2007;93(12):1591-1598.
 78. Weinberg L, Spanger MC, Harley I, Story DA, Hall A. Multislice computed tomography coronary angiography: risk stratification of patients in the perioperative period. *Anaesth Intensive Care.* May 2008;36(3):308-323.
 79. Bettencourt N, Rocha J, Carvalho M, Leite D, Toschke AM, Melica B, Santos L, Rodrigues A, Goncalves M, Braga P, Teixeira M, Simoes L, Rajagopalan S, Gama V. Multislice

- computed tomography in the exclusion of coronary artery disease in patients with presurgical valve disease. *Circ Cardiovasc Imaging*. Jul 2009;2(4):306-313.
80. Gilard M, Cornily JC, Pennec PY, Joret C, Le Gal G, Mansourati J, Blanc JJ, Bosch J. Accuracy of multislice computed tomography in the preoperative assessment of coronary disease in patients with aortic valve stenosis. *J Am Coll Cardiol*. May 16 2006;47(10):2020-2024.
 81. Laissy JP, Messika-Zeitoun D, Serfaty JM, Sebban V, Schouman-Claeys E, Lung B, Vahanian A. Comprehensive evaluation of preoperative patients with aortic valve stenosis: usefulness of cardiac multidetector computed tomography. *Heart*. Sep 2007;93(9):1121-1125.
 82. Leipsic J, Wood D, Manders D, Nietlispach F, Masson JB, Mayo J, Al-Bugami S, Webb JG. The evolving role of MDCT in transcatheter aortic valve replacement: a radiologists' perspective. *AJR Am J Roentgenol*. Sep 2009;193(3):W214-219.
 83. Meijboom WB, Mollet NR, Van Mieghem CA, Kluin J, Weustink AC, Pugliese F, Vourvouri E, Cademartiri F, Bogers AJ, Krestin GP, de Feyter PJ. Pre-operative computed tomography coronary angiography to detect significant coronary artery disease in patients referred for cardiac valve surgery. *J Am Coll Cardiol*. Oct 17 2006;48(8):1658-1665.
 84. O'Gara PT. One more step for computed tomography coronary angiography before heart valve surgery. *Circ Cardiovasc Imaging*. Jul 2009;2(4):279-281.
 85. Plass A, Scheffel H, Alkadhi H, Kaufmann P, Genoni M, Falk V, Grunenfelder J. Aortic valve replacement through a minimally invasive approach: preoperative planning, surgical technique, and outcome. *Ann Thorac Surg*. Dec 2009;88(6):1851-1856.
 86. Scheffel H, Leschka S, Plass A, Vachenaer R, Gaemperli O, Garzoli E, Genoni M, Marincek B, Kaufmann P, Alkadhi H. Accuracy of 64-slice computed tomography for the preoperative detection of coronary artery disease in patients with chronic aortic regurgitation. *Am J Cardiol*. Aug 15 2007;100(4):701-706.
 87. Schoenhagen P, Tuzcu EM, Kapadia SR, Desai MY, Svensson LG. Three-dimensional imaging of the aortic valve and aortic root with computed tomography: new standards in an era of transcatheter valve repair/implantation. *Eur Heart J*. Sep 2009;30(17):2079-2086.
 88. Tops LF, Wood DA, Delgado V, Schuijff JD, Mayo JR, Pasupati S, Lamers FP, van der Wall EE, Schalij MJ, Webb JG, Bax JJ. Noninvasive evaluation of the aortic root with multislice computed tomography implications for transcatheter aortic valve replacement. *JACC Cardiovasc Imaging*. May 2008;1(3):321-330.
 89. Andreini D, Pontone G, Pepi M, Ballerini G, Bartorelli AL, Magini A, Quaglia C, Nobili E, Agostoni P. Diagnostic accuracy of multidetector computed tomography coronary angiography in patients with dilated cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol*. May 22 2007;49(20):2044-2050.
 90. Ghostine S, Caussin C, Habis M, Habib Y, Clement C, Sigal-Cinquabre A, Angel CY, Lancelin B, Capderou A, Paul JF. Non-invasive diagnosis of ischaemic heart failure using 64-slice computed tomography. *Eur Heart J*. Apr 1 2008.
 91. Greenland P, Bonow RO, Brundage BH, Budoff MJ, Eisenberg MJ, Grundy SM, Lauer MS, Post WS, Raggi P, Redberg RF, Rodgers GP, Shaw LJ, Taylor AJ, Weintraub WS.

- ACCF/AHA 2007 clinical expert consensus document on coronary artery calcium scoring by computed tomography in global cardiovascular risk assessment and in evaluation of patients with chest pain: a report of the American College of Cardiology Foundation Clinical Expert Consensus Task Force (ACCF/AHA Writing Committee to Update the 2000 Expert Consensus Document on Electron Beam Computed Tomography) developed in collaboration with the Society of Atherosclerosis Imaging and Prevention and the Society of Cardiovascular Computed Tomography. *J Am Coll Cardiol*. Jan 23 2007;49(3):378-402.
92. Oudkerk M, Stillman AE, Halliburton SS, Kalender WA, Mohlenkamp S, McCollough CH, Vliegenthart R, Shaw LJ, Stanford W, Taylor AJ, van Ooijen PM, Wexler L, Raggi P. Coronary artery calcium screening: current status and recommendations from the European Society of Cardiac Radiology and North American Society for Cardiovascular Imaging. *Eur Radiol*. Dec 2008;18(12):2785-2807.
 93. Shemesh J. Detection and Quantification of Coronary Calcium with Dual Slice CT. In: UJ S, ed. *CT of the Heart: Principles and Applications*. Totowa, NJ, USA: Contemporary Cardiology, Humana Press Inc; 2004.
 94. Kondos GT, Hoff JA, Sevrukov A, Daviglius ML, Garside DB, Devries SS, Chomka EV, Liu K. Electron-beam tomography coronary artery calcium and cardiac events: a 37-month follow-up of 5635 initially asymptomatic low- to intermediate-risk adults. *Circulation*. May 27 2003;107(20):2571-2576.
 95. LaMonte MJ, FitzGerald SJ, Church TS, Barlow CE, Radford NB, Levine BD, Pippin JJ, Gibbons LW, Blair SN, Nichaman MZ. Coronary artery calcium score and coronary heart disease events in a large cohort of asymptomatic men and women. *Am J Epidemiol*. Sep 1 2005;162(5):421-429.
 96. Taylor AJ, Bindeman J, Feuerstein I, Cao F, Brazaitis M, O'Malley PG. Coronary calcium independently predicts incident premature coronary heart disease over measured cardiovascular risk factors: mean three-year outcomes in the Prospective Army Coronary Calcium (PACC) project. *J Am Coll Cardiol*. Sep 6 2005;46(5):807-814.
 97. Vliegenthart R, Oudkerk M, Hofman A, Oei HH, van Dijck W, van Rooij FJ, Witteman JC. Coronary calcification improves cardiovascular risk prediction in the elderly. *Circulation*. Jul 26 2005;112(4):572-577.
 98. Detrano R, Guerci AD, Carr JJ, Bild DE, Burke G, Folsom AR, Liu K, Shea S, Szklo M, Bluemke DA, O'Leary DH, Tracy R, Watson K, Wong ND, Kronmal RA. Coronary calcium as a predictor of coronary events in four racial or ethnic groups. *N Engl J Med*. Mar 27 2008;358(13):1336-1345.
 99. Lakoski SG, Greenland P, Wong ND, Schreiner PJ, Herrington DM, Kronmal RA, Liu K, Blumenthal RS. Coronary artery calcium scores and risk for cardiovascular events in women classified as "low risk" based on Framingham risk score: the multi-ethnic study of atherosclerosis (MESA). *Arch Intern Med*. Dec 10 2007;167(22):2437-2442.
 100. Budoff MJ, Nasir K, McClelland RL, Detrano R, Wong N, Blumenthal RS, Kondos G, Kronmal RA. Coronary calcium predicts events better with absolute calcium scores than age-sex-race/ethnicity percentiles: MESA (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis). *J Am Coll Cardiol*. Jan 27 2009;53(4):345-352.

101. Budoff MJ, Shaw LJ, Liu ST, Weinstein SR, Mosler TP, Tseng PH, Flores FR, Callister TQ, Raggi P, Berman DS. Long-term prognosis associated with coronary calcification: observations from a registry of 25,253 patients. *J Am Coll Cardiol.* May 8 2007;49(18):1860-1870.
102. Greenland P, LaBree L, Azen SP, Doherty TM, Detrano RC. Coronary artery calcium score combined with Framingham score for risk prediction in asymptomatic individuals. *JAMA.* Jan 14 2004;291(2):210-215.
103. Blaha M, Budoff MJ, Shaw LJ, Khosa F, Rumberger JA, Berman D, Callister T, Raggi P, Blumenthal RS, Nasir K. Absence of coronary artery calcification and all-cause mortality. *JACC Cardiovasc Imaging.* Jun 2009;2(6):692-700.
104. Naghavi M, Falk E, Hecht HS, Jamieson MJ, Kaul S, Berman D, Fayad Z, Budoff MJ, Rumberger J, Naqvi TZ, Shaw LJ, Faergeman O, Cohn J, Bahr R, Koenig W, Demirovic J, Arking D, Herrera VL, Badimon J, Goldstein JA, Rudy Y, Airaksinen J, Schwartz RS, Riley WA, Mendes RA, Douglas P, Shah PK. From vulnerable plaque to vulnerable patient--Part III: Executive summary of the Screening for Heart Attack Prevention and Education (SHAPE) Task Force report. *Am J Cardiol.* Jul 17 2006;98(2A):2H-15H.
105. See R, Lindsey JB, Patel MJ, Ayers CR, Khera A, McGuire DK, Grundy SM, de Lemos JA. Application of the screening for Heart Attack Prevention and Education Task Force recommendations to an urban population: observations from the Dallas Heart Study. *Arch Intern Med.* May 26 2008;168(10):1055-1062.
106. Miller JA, Raichlin E, Williamson EE, McCully RB, Pellikka PA, Hodge DO, Miller TD, Gibbons RJ, Araoz PA. Evaluation of coronary CTA Appropriateness Criteria in an academic medical center. *J Am Coll Radiol.* 2010; 7(2):125-131.