ORIGINAL ARTICLE

Dosimetric Comparison of Three-Dimensional Conformal Radiotherapy under Deep Inspiration Breath-Hold and Free-Breathing Conditions and Volumetric Modulated Arc Therapy for Left-Sided Breast Cancer

Mohsen Saeb[1]
Zeinab Ghasemian[2]
Salman Jafari[3]
Ali Shams2
Reza Moghareabed[4]
Safoora Nikzad[5]

[1] PhD in Medical Physics, Rasa Imaging and Therapy Center, Isfahan Healthcare City, Isfahan, Iran
[2] MSc in Medical Physics, Rasa Imaging and Therapy Center, Isfahan Healthcare City, Isfahan, Iran
[3] PhD in Medical Physics, Department of Radiology, School of Paramedicine, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
[4] Radiation Oncologist, Rasa Imaging and Therapy Center, Isfahan Healthcare City, Isfahan, Iran
[5] PhD in Medical Physics, Department of Medical Physics, Faculty of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran

(Received August 1, 2026; Accepted September 13, 2026)

Abstract

Background and purpose: Radiotherapy for left-sided breast cancer may result in unintended radiation to the heart and left lung, and deep inspiration breath-hold (DIBH) can reduce this dose by increasing the distance between the heart and the chest wall. The aim of this study was to compare the dose received by the target volume and organs at risk in 3D-CRT techniques during free breathing (FB) and breath-hold, as well as in VMAT, in patients with left-sided breast cancer.

Materials and methods: In this dosimetric comparative study, ten patients with left-sided breast cancer scheduled for radiotherapy were enrolled. For each patient, CT simulation were acquired under FB and DIBH conditions. The mean doses to the target volume (CTV) and OARs, along with dose-volume parameters, including V95%, V98%, and V100% for the CTV and V25%, V20%, V10%, V5%, and V2% for the OARs, were extracted from dose-volume histograms (DVHs). Data were analysed using SPSS version 22 ($P < 0.05$).

Results: Significant differences were observed among techniques in the mean doses to the heart ($P = 0.001$), left lung ($P = 0.002$), and LAD ($P < 0.001$). DIBH reduced the mean doses to the heart (5.29 vs. 8.50 Gy), left lung (10.56 vs. 14.46 Gy), and LAD (33.52 vs. 40.22 Gy). Of the three techniques, VMAT produced the lowest mean doses to the heart (4.64 Gy) and LAD (23.42 Gy), but the highest dose to the contralateral breast (2.50 Gy). The mean CTV doses for FB, DIBH, and VMAT were 46.13, 46.60, and 51.78 Gy, respectively, with no significant difference among the three techniques.

Conclusion: DIBH was associated with significantly lower mean doses to the heart, left lung, and LAD compared with FB. VMAT resulted in the lowest mean doses to the heart and LAD but the highest dose to the contralateral breast.

Keywords: breast cancer, deep inspiration breath-hold, free breathing, volumetric modulated arc therapy, radiotherapy planning

J Mazandaran Univ Med Sci 2026; 36 (261): 18-30 (Persian).

Corresponding Author: Safoora Nikzad - Faculty of Medicine, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran (E-mail: s.nikzad@med.mui.ac.ir)

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

پژوهشی

مجله دانشگاه علوم پزشکی مازندران
دوره سی و ششم شماره ۲۶۱ مهر سال ۱۴۰۵ (۳۰-۱۸)

مقایسه دوزیمتریک رادیوتراپی سه‌بعدی کانفورمال در شرایط حبس عمیق دم و تنفس آزاد با رادیوتراپی قوسی مدوله شده حجمی در سرطان پستان چپ

محسن صائب[1]
زینب قاسمیان[2]
سلمان جعفری[3]
علی شمس[2]
رضا مقاره عابد[4]
صفورا نیک زاد[5]

چکیده

سابقه و هدف: رادیوتراپی سرطان پستان چپ می‌تواند موجب دریافت دوز ناخواسته توسط قلب و ریه چپ شود و حبس نفس در دم عمیق (DIBH) با افزایش فاصله قلب از قفسه سینه می‌تواند این دوز را کاهش دهد. هدف از این مطالعه، مقایسه دوز دریافتی حجم هدف و اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های 3D-CRT در حالت تنفس آزاد (FB) و حبس نفس و نیز VMAT در بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ بود.

مواد و روش ها: در این مطالعه مقایسه ایی دوزیمتریک ده بیمار مبتلا به سرطان پستان چپ کاندید پرتودرمانی وارد مطالعه شدند. برای هر بیمار، تصاویر CT سیمولیشن در دو وضعیت FB و DIBH تهیه شد. میانگین دوز حجم هدف (CTV) و اندام‌های در معرض خطر (OARs)، به همراه شاخص‌های دوز–حجم شامل V95%، V98% و V100% برای CTV و V25%، V20%، V10%، V5% و V2% برای اندام‌های در معرض خطر، از هیستوگرام‌های دوز–حجم (DVHs) استخراج شدند. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۲ تحلیل شدند (P <۰/۰۵).

یافته‌ها: اختلاف میان سه روش در میانگین دوز قلب (P=۰/۰۰۱)، ریه چپ (P=۰/۰۰۲) وLAD (P <۰/۰۰۱) از نظر آماری معنی‌دار بود. استفاده از DIBH موجب کاهش میانگین دوز قلب (۵/۲۹ در برابر ۸/۵۰ گری)، ریه چپ (۱۰/۵۶ در برابر ۱۴/۴۶ گری) و LAD (۳۳/۵۲ در برابر ۴۰/۲۲ گری) شد. در مقایسه سه روش، VMAT کم‌ترین میانگین دوز را برای قلب (۴/۶۴ گری) و LAD (۲۳/۴۲ گری) و بیش‌ترین میانگین دوز را برای پستان مقابل (۲/۵۰ گری) ایجاد کرد. میانگین دوز CTV در روش‌های FB، DIBH و VMAT به‌ترتیب ۴۶/۱۳، ۴۶/۶۰ و ۵۱/۷۸ گری و اختلاف سه روش از نظر آماری معنی‌دار نبود.

استنتاج: روش DIBH در مقایسه با FB با کاهش معنی‌دار میانگین دوز قلب، ریه چپ و LAD همراه است. VMAT نیز کم‌ترین میانگین دوز قلب و LAD اما بیش‌ترین دوز پستان مقابل را دارد.

واژه های کلیدی: سرطان پستان، تکنیک حبس عمیق دم، تنفس آزاد، رادیوتراپی قوسی با مدولاسیون حجمی، طراحی درمان رادیوتراپی

مولف مسئول: صفورا نیک زاد-اصفهان، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران **E-mail:** s.nikzad@med.mui.ac.ir
۱. دکتری فیزیک پزشکی، مرکز تصویربرداری و درمان رسا، شهر سلامت اصفهان، اصفهان، ایران
۲. کارشناسی ارشد فیزیک پزشکی، مرکز تصویربرداری و درمان رسا، شهر سلامت اصفهان، اصفهان، ایران
۳. دکتری فیزیک پزشکی، گروه رادیولوژی، دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران
۴. متخصص رادیوانکولوژی، مرکز تصویربرداری و درمان رسا، شهر سلامت اصفهان، اصفهان، ایران
۵. دکتری فیزیک پزشکی، گروه فیزیک پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
تاریخ دریافت : ۱۴۰۵/۵/۱۰ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات : ۱۴۰۵/۵/۱۴ تاریخ تصویب : ۱۴۰۵/۶/۲۲

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

مقدمه

سرطان پستان شایع‌ترین بدخیمی تشخیص داده شده در میان زنان در سراسر جهان است و با وجود پیشرفت‌های قابل‌توجه در تشخیص زودهنگام و راهبردهای درمانی، همچنان یکی از مهم‌ترین چالش‌های سلامت عمومی به شمار می‌رود(۱). ترکیب جراحی، درمان‌های سیستمیک و رادیوتراپی موجب بهبود چشمگیر کنترل موضعی بیماری و افزایش بقای بیماران شده است. در میان این روش‌ها، رادیوتراپی نقش اساسی در از بین بردن بیماری میکروسکوپی باقیمانده و افزایش بقای بدون بیماری دارد. با این حال، مزایای درمانی آن باید در برابر خطر بروز عوارض دیررس، به‌ویژه در قلب و ریه‌ها، متعادل شود(۱، ۲).

تابش پرتو به بافت‌های طبیعی مجاور، به‌ویژه با افزایش عمر بهبود یافتگان با عمر طولانی مدت، نگرانی‌های فزاینده‌ای را در رابطه با کیفیت زندگی این بیماران ایجاد کرده است. رادیوتراپی با افزایش خطر بروز بدخیمی‌های ثانویه، از جمله سرطان ریه ناشی از پرتو، به‌ویژه در گروه‌های پرخطر مانند افراد سیگاری، همراه است(۲). علاوه بر این، بیمارانی که تحت رادیوتراپی پستان چپ قرار می‌گیرند، در مقایسه با بیماران تحت درمان پستان راست، در معرض خطر بیش‌تری برای ابتلا به بیماری ایسکمیک قلب قرار دارند که این موضوع، آسیب‌پذیری آناتومیکی قلب را نشان می‌دهد(۳، ۴). رادیوتراپی پستان چپ با افزایش تقریباً دو برابری خطر بیماری عروق کرونر در پیگیری‌های طولانی‌مدت همراه بوده است(۴). اعتقاد بر این است که این عارضه ناشی از آسیب پیشرونده ناشی از پرتو به عروق کرونر، ریزعروق میوکارد و دریچه‌های قلبی است.

علاوه بر این، یک رابطه خطی بین دوز میانگین قلب و سمیت قلبی‌عروقی گزارش شده است، به‌طوری‌که به ازای هر افزایش ۱ گری در دوز میانگین قلب، خطر وقوع حوادث عمده کرونری حدود ۷ درصد افزایش می‌یابد(۵). این موضوع به‌ویژه در بیماران جوان‌تر که امید به زندگی طولانی‌تری دارند، از اهمیت بیش‌تری برخوردار است. افزون بر آسیب قلبی، رادیوتراپی می‌تواند موجب فیبروز ریوی، تغییرات ظاهری پستان و بروز سرطان در پستان مقابل نیز شود(۶). این نگرانی‌ها موجب شده است تلاش‌های گسترده‌ای برای بهینه‌سازی تکنیک‌های رادیوتراپی با هدف کاهش دوز دریافتی اندام‌های در معرض خطر انجام شود.

راهبردهای متعددی برای حفاظت از اندام‌های در معرض خطر توسعه یافته‌اند. تکنیک‌های تانژانسیال متداول، به دلیل سادگی، همچنان به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما حفاظت محدودی از قلب و ریه‌ها فراهم می‌کنند. در مقابل، تکنیک‌های پیشرفته‌تری مانند رادیوتراپی با شدت تعدیل شده (IMRT) و رادیوتراپی قوسی با مدولاسیون حجمی (VMAT)، امکان توزیع بهتر دوز در حجم هدف و حفاظت بیش‌تر از اندام‌های در معرض خطر را فراهم می‌کنند؛ با این حال، دسترسی به این تکنیک‌ها در بسیاری از مراکز درمانی همچنان محدود است (۳). بنابراین، ایجاد تعادل میان برتری دوزیمتریک و امکان‌پذیری بالینی، همچنان یکی از چالش‌های مهم در رادیوتراپی سرطان پستان محسوب می‌شود.

تکنیک حبس عمیق دم (Deep Inspiration Breath-Hold; DIBH) یکی از مؤثرترین روش‌ها برای کاهش دوز دریافتی قلب است. در هنگام دم عمیق، با اتساع دیواره قفسه سینه و جابه‌جایی قلب به سمت پایین و عقب، فاصله بین قلب و پستان تحت تابش افزایش می‌یابد و در نتیجه، دوز دریافتی قلب و شریان نزولی قدامی چپ (LAD) کاهش می‌یابد(۱۴ – ۷). مطالعات متعددی نشان داده‌اند که استفاده از DIBH موجب کاهش قابل توجه دوز میانگین قلب، بدون کاهش پوشش مناسب حجم هدف درمان، می‌شود. برای مثال، Doležel و همکاران کاهش دوز میانگین قلب را از ۳/۲۲ گری در شرایط تنفس آزاد (Free Breathing: FB) به ۱/۲۱ گری با استفاده از DIBH گزارش کردند(۹). کاهش‌های مشابهی نیز توسط Vikström و

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

همکاران و Sakka و همکاران در تکنیک‌های 3D-CRT، IMRT و VMAT گزارش شده است(۱۰، ۱۱).

علاوه بر این، نشان داده شده است که DIBH دوز دریافتی سایر اندام‌های در معرض خطر، از جمله ریه همان سمت و LAD، را نیز کاهش می‌دهد(۱۴ – ۱۲). کاربرد بالقوه این تکنیک در بیماران مبتلا به سرطان پستان راست نیز مورد بررسی قرار گرفته است، اگر چه اهمیت بالینی آن در این گروه از بیماران همچنان در دست مطالعه است(۱۷ - ۱۵).

در مرکز مورد مطالعه، از سال ۲۰۲۱ تکنیک DIBH با کمک سامانه هماهنگ‌کننده فعال تنفس (Active Breathing Coordinator; ABC) به‌صورت پایلوت در تعدادی از بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ که واجد شرایط اجرای این تکنیک بودند، مورد استفاده قرار گرفت. اگر چه این تکنیک از نظر کاهش دوز دریافتی قلب و سایر اندام‌های در معرض خطر نتایج مطلوبی نشان داد، اجرای آن در همه بیماران همواره امکان‌پذیر نیست و عواملی مانند توانایی و همکاری بیمار در انجام حبس نفس پایدار، الزامات اجرایی و نیاز به تجهیزات اختصاصی می‌توانند استفاده گسترده از آن را محدود کنند. از این رو، هدف این مطالعه صرفاً بازآزمایی اثربخشی شناخته شده DIBH نبود، بلکه ارزیابی و مقایسه عملکرد دوزیمتریک آن با روش‌های جایگزین، شامل 3D-CRT در شرایط FB و VMAT، در شرایط واقعی مرکز مورد مطالعه بود. این مقایسه با هدف تعیین میزان کاهش دوز حاصل از DIBH و بررسی میزان تفاوت دوزیمتریک روش‌های جایگزین با DIBH انجام شد.

مواد و روش‌ها

انتخاب بیمار

در این مطالعه مقایسه ایی دوزیمتریک، بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ که تحت جراحی حفظ پستان قرار گرفته و جهت انجام رادیوتراپی با دستگاه شتاب دهنده خطی Elekta Versa HD به بیمارستان سیدالشهدا (اصفهان، ایران) ارجاع شده بودند، وارد مطالعه شدند. در مجموع ۱۰ بیمار با ویژگی‌های بالینی مشابه که قادر بودند تکنیک DIBH را به‌مدت حداقل ۲۰ ثانیه به‌طور پایدار اجرا کنند و رضایت آگاهانه برای شرکت در مطالعه را ارائه داده بودند، برای ارزیابی دوزیمتریک انتخاب شدند. تمامی بیماران پیش از ورود به مطالعه تحت جراحی حفظ پستان قرار گرفته بودند و سابقه‌ای از پرتودرمانی یا سایر درمان‌های انکولوژیک قبلی نداشتند.

این مطالعه با حمایت کمیته تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی اصفهان (شماره قرارداد: ۱۴۰۴۱۴۶) و پس از اخذ تأییدیه از کمیته اخلاق در پژوهش (کد اخلاق: IR.ARI.MUI.REC.1404.190) انجام شد. تمامی مراحل پژوهش مطابق با اصول اخلاقی کمیته‌های پژوهشی مؤسسه و مقررات ملی و نیز بر اساس مفاد بیانیه هلسینکی (۱۹۶۴) و اصلاحات بعدی آن انجام گرفت. قابل ذکر است که پیش از ورود به مطالعه، رضایت‌نامه آگاهانه کتبی از تمامی شرکت‌کنندگان اخذ شد.

سی‌تی سیمولیشن و اجرای تکنیک DIBH

برای هر بیمار، تصاویر سی‌تی سیمولیشن در دو وضعیت DIBH و FB با استفاده از دستگاه CT اسکنر زیمنس (SOMATOM) تهیه شد.

به‌منظور اجرای تکنیک DIBH، در مرحله آموزش بیمار از قطعه دهانی (Mouthpiece) استفاده شد. در این مرحله، سامانه ABC شرکت Elekta، سازگار با شتاب‌دهنده خطی Elekta Versa HD، به‌عنوان سیستم کنترل تنفس استفاده شد. سامانه ABC به یک حسگر مشابه اسپیرومتر مجهز است که تغییرات حجم ریه را در طول چرخه تنفسی به‌طور پیوسته پایش می‌کند.

قطعه دهانی قرار گرفته در دهان بیمار، اطلاعات مربوط به وضعیت تنفس را به‌صورت لحظه‌ای به رایانه کنترل خارج از اتاق درمان منتقل می‌کند. این اطلاعات به فیزیکدان پزشکی امکان می‌دهد تا پیش از

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

تصویربرداری یا درمان، سطح حبس نفس و وضعیت بیمار را به‌دقت پایش و تأیید کند.

طراحی درمان

داده‌های حاصل از سی‌تی اسکن هر بیمار به سیستم طراحی درمان موناکو (Monaco Treatment Planning System)، (Elekta، سوئد) منتقل شد. این مطالعه از نوع مقایسه‌ای برنامه‌ریزی درمان بود که در آن سه روش 3D-CRT در شرایط تنفس آزاد (3D-CRT-FB)، 3D-CRT همراه با حبس عمیق دم (3D-CRT-DIBH) و VMAT در شرایط تنفس آزاد (VMAT-FB) با استفاده از شتاب‌دهنده خطی Elekta Versa HD مورد ارزیابی دوزیمتریک قرار گرفتند.

کانتورینگ خودکار اندام‌های در معرض خطر شامل ریه‌ها، قلب، LAD و پستان‌ها با استفاده از نرم‌افزار Limbua AI انجام شد و سپس تمامی کانتورها توسط متخصص رادیوانکولوژی بازبینی و تأیید شدند.

حجم هدف بالینی (Clinical Target Volume; CTV) شامل بافت پستان، ناحیه دیواره قفسه سینه (در صورت نیاز) و نواحی غدد لنفاوی آگزیلاری ترسیم شد و با اعمال حاشیه مناسب، حجم هدف برنامه‌ریزی (Planning Target Volume; PTV) ایجاد گردید.

در روش 3D-CRT از دو میدان فوتونی تانژانسی استفاده شد. دوز تجویزی برای تمامی طرح‌های درمانی ۵۰ Gy در ۲۵ فراکشن، معادل ۲ Gy در هر فراکشن، در نظر گرفته شد. درمان به‌صورت پرتودرمانی کل پستان و بدون boost به بستر تومور انجام شد و هیچ یک از بیماران boost دریافت نکردند. هدف برنامه‌ریزی این بود که حداقل ۹۵ درصد حجمPTV، حداقل ۹۵ درصد دوز تجویزی را دریافت کند.

برای هر بیمار، برنامه‌های 3D-CRT بر اساس دو مجموعه تصاویر CT در شرایط FB و DIBH طراحی شدند. همچنین، برنامه VMAT بر اساس تصاویر CT در شرایط FB طراحی و از نظر دوزیمتریک با دو روش 3D-CRT مقایسه شد. سایر پارامترهای دزیمتری، شامل دوز تجویزی و معیارهای پوشش حجم هدف، تا حد امکان در تمامی طرح‌ها یکسان در نظر گرفته شد تا امکان مقایسه دوزیمتریک فراهم شود.

پس از تکمیل برنامه‌ریزی درمان، هیستوگرام‌های دوز–حجم (Dose–Volume Histograms; DVHs) برای تمامی طرح‌های درمانی استخراج شد. اگر چه بهینه‌سازی و ارزیابی کیفیت طراحی درمان بر اساس معیارهای پوشش حجم هدف برنامه‌ریزی (PTV) انجام گرفت، مقایسه دوزیمتری حجم هدف در این مطالعه بر اساس CTV انجام شد. بدین منظور، پارامترهای دوزیمتریک شامل حداقل، حداکثر و میانگین دوز برای CTVو اندام‌های در معرض خطر، همچنین شاخص‌های دوز–حجم شامل V25%، V20%، V10%، V5% و V2%برای اندام‌های در معرض خطر، از هیستوگرام‌های دوز–حجم استخراج شدند.

تجزیه و تحلیل آماری

تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار IBM SPSS Statisticsنسخه ۲۲ (IBM Corp., Armonk, NY, USA) انجام شد و ترسیم نمودارها با استفاده از نرم‌افزار (Microsoft Corp., Redmond, WA, USA) Microsoft Excel 2019 صورت گرفت. داده‌های کمی به‌صورت میانگین ± انحراف معیار (Mean ± SD) گزارش شدند.

به‌منظور بررسی توزیع داده‌ها، از آزمون Shapiro–Wilk استفاده شد. بر اساس توزیع داده‌ها، آزمون آماری مناسب برای مقایسه پارامترهای دوزیمتریک بین روش های درمانی انتخاب شد. برای متغیرهای دارای توزیع غیرنرمال، از آزمون Kruskal–Wallis استفاده شد و نتایج به‌صورت مقدار P حاصل از مقایسه کلی سه روش گزارش شدند. تمام آزمون‌ها دو طرفه (Two-sided) بودند. $P < ۰/۰۵$ به‌عنوان سطح معنی‌داری آماری در نظر گرفته شد.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

یافته ها

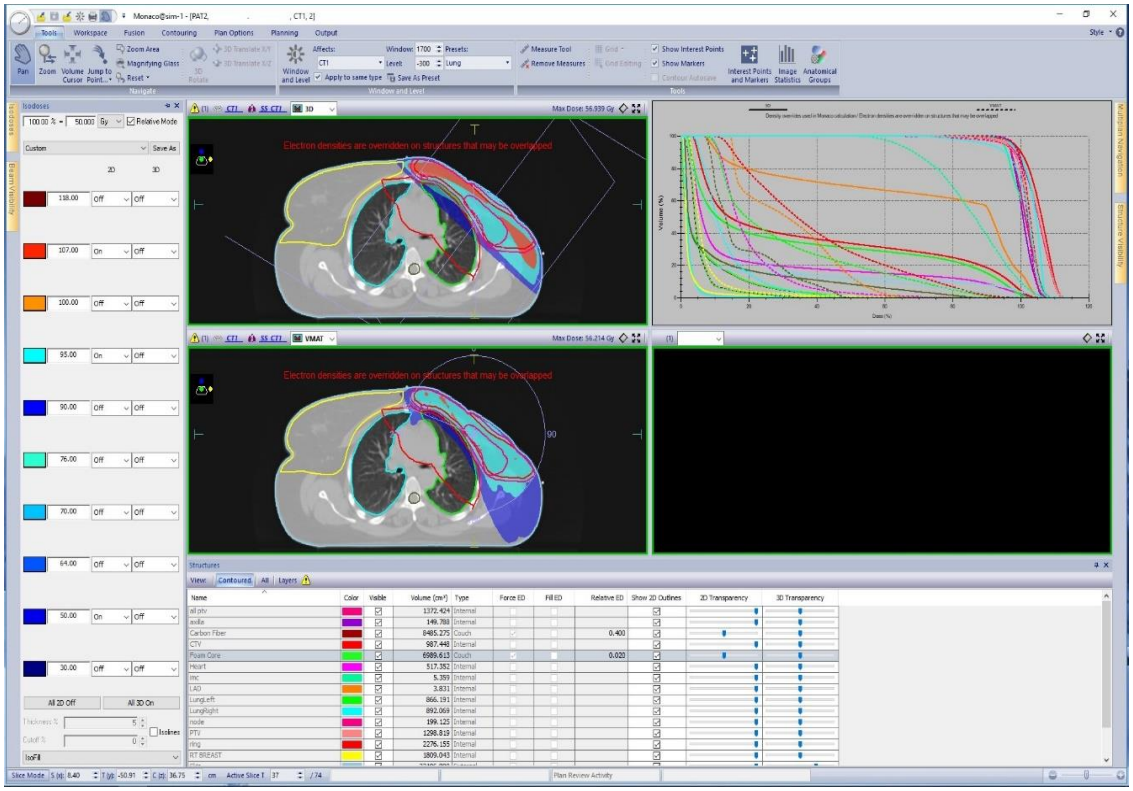
میانگین سنی بیماران ۳/۸۶ ± ۵۵/۲۰ سال (دامنه: ۴۸ تا ۶۲ سال) بود. تمامی بیماران پیش از ورود به مطالعه تحت جراحی حفظ پستان قرار گرفته بودند و سابقه‌ای از درمان‌های انکولوژیک قبلی نداشتند. همچنین، بر اساس پرونده پزشکی و اظهارات بیماران، هیچ یک سابقه بیماری‌های قلبی یا ریوی نداشتند.

به‌منظور نمایش کیفی تفاوت توزیع دوز بین تکنیک‌های مورد بررسی، یک تصویر از طرح‌های 3D-CRT و VMAT در تصویر شماره ۱، ارائه شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، الگوی توزیع دوز و میزان ورود دوز به اندام‌های در معرض خطر بین دو تکنیک متفاوت است

برای ارزیابی پوشش حجم هدف، شاخص‌های دوزیمتریک CTV شامل حداقل دوز، میانگین دوز، حداکثر دوز، D2، V95%، V98% و V100% در سه تکنیک 3D-CRT-DIBH، 3D-CRT-FB و VMAT-FB مورد بررسی قرار گرفتند. میانگین دوز CTV در سه تکنیک به‌ترتیب ۰/۳۳ ± ۵۰/۰۵، ۰/۵۵ ± ۵۲/۲۹ و ۰/۳۳ ± ۵۰/۴۸ Gy بود. مقادیر سایر شاخص‌های دوزیمتریک CTVدر جدول شماره ۱، ارائه شده‌اند.

جدول شماره ۱: مقایسه شاخص‌های دوزیمتریک CTV در سه تکنیک 3D-CRT-DIBH، 3D-CRT-FB و VMAT-FB

شاخص دوزیمتریکCTV	3D-CRT-DIBH	3D-CRT-FB	VMAT-FB
حجم (cm^3)	۳۲۸/۴۸ ± ۸۳۶/۸۹	۳۵۰/۰۸ ± ۸۶۲/۳۰	۲۸۴/۶۹ ± ۱۰۱۵/۰۵
حداقل دوز (Gy)	۲/۵۵ ± ۴۰/۵۶	۹/۹۶ ± ۳۱/۵۳	۰۹/۲۳ ± ۲۶/۲۰
میانگین دوز (Gy)	۰/۳۳ ± ۵۰/۰۵	۰/۵۵ ± ۵۲/۲۹	۰/۳۳ ± ۵۰/۴۸
حداکثر دوز (Gy)	۰/۶۰ ± ۵۶/۰۸	۰/۳۹ ± ۵۶/۷۰	۰/۴۵ ± ۵۷/۷۰
D2 (Gy)	۰/۹۰ ± ۵۳/۳۱	۰/۳۶ ± ۵۵/۶۸	۰/۴۶ ± ۵۳/۶۴
V95%	۱/۶۴ ± ۹۰/۸۱	۳/۴۳ ± ۹۵/۹۸	۱/۱۶ ± ۹۷/۱۱
V98%	۵/۷۴ ± ۸۵/۹۳	۳/۴۲ ± ۹۳/۳۷	۲/۱۰ ± ۹۴/۵۳
V100%	۹/۳۱ ± ۵۹/۷۶	۷/۰۳ ± ۸۵/۹۸	۳/۱۴ ± ۸۱/۵۴



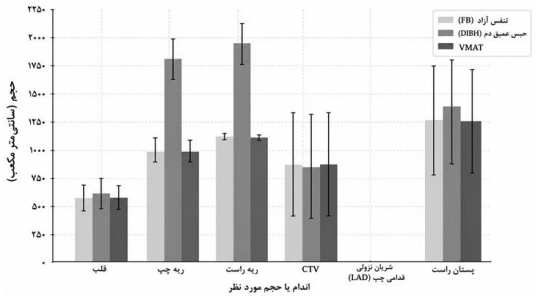
تصویر شماره ۱: مقایسه توزیع دوز در یک مقطع محوری نماینده در تکنیک‌های 3D-CRT و VMAT در یک بیمار مبتلا به سرطان پستان چپ، خطوط ایزودوز، توزیع دوز در حجم هدف و اندام‌های در معرض خطر شامل قلب، ریه‌ها و LAD را نشان می‌دهند. این تصویر به‌منظور نمایش کیفی تفاوت الگوی توزیع دوز بین دو تکنیک ارائه شده است.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

همان‌طور که در جدول شماره ۱، مشاهده می‌شود، میانگین دوز CTV در هر سه تکنیک به دوز تجویزی ۵۰ Gy نزدیک بود. شاخص‌های پوشش حجمی CTV نیز در هر سه روش قابل ارزیابی بودند، اگر چه مقادیر V95%، V98% و V100% بین تکنیک‌ها تفاوت‌هایی نشان دادند. با توجه به این که هدف اصلی مطالعه حاضر مقایسه دوزیمتریک تکنیک‌ها و ارزیابی حفاظت از اندام‌های در معرض خطر بود، این شاخص‌ها در کنار سایر پارامترهای CTV برای توصیف کیفیت پوشش حجم هدف در نظر گرفته شدند.

پارامترهای دوزیمتریک استخراج شده برای حجم هدف و اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های مختلف پرتودرمانی مورد مقایسه قرار گرفتند. در گام نخست، حجم قلب، ریه چپ، ریه راست، LAD، پستان مقابل و حجم هدف بالینی بر اساس تصاویر سی‌تی سیمولیشن در دو وضعیت FB و DIBH اندازه‌گیری و ارزیابی شدند.

تصویر شماره ۲، میانگین ± انحراف معیار حجم قلب، ریه چپ، ریه راست، CTV، LAD و پستان راست را در طرح‌های درمانی مورد بررسی نشان می‌دهد.



تصویر شماره ۲: مقایسه حجم ساختارهای مورد بررسی در تکنیک‌های مختلف پرتودرمانی (توجه: حجم LAD به دلیل اختلاف زیاد مقیاس با سایر ساختارها در نمودار به‌وضوح قابل مشاهده نیست.)

بر اساس تصویر شماره ۲، حجم هر دو ریه در تصاویر DIBH نسبت به FB افزایش قابل توجهی داشت که بیانگر افزایش حجم ریه‌ها در طی دم عمیق است.

همچنین، حجم LAD در تصاویر DIBH اندکی بیش‌تر از FB مشاهده شد. در مقابل، حجم قلب، CTV و پستان مقابل در تکنیک‌های مختلف تفاوت قابل توجهی نشان ندادند.

نتایج مقایسه دوزیمتریک سه روش 3D-CRT در شرایط FB، 3D-CRT همراه با DIBH و VMAT در جدول شماره ۲، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین دوز قلب، ریه چپ، ریه راست، LAD، پستان راست و CTV در هر سه روش با یکدیگر مقایسه شد. اختلاف کلی میان سه روش برای قلب، ریه چپ، ریه راست و LAD از نظر آماری معنی‌دار بود، در حالی که این اختلاف برای پستان راست و CTV معنی‌دار نبود.

جدول شماره ۲: مقایسه میانگین دوز (گری) در حجم هدف و اندام‌های در معرض خطر در روش‌های 3D-CRT-FB،3D-CRT-DIBH و VMAT

تفسیر	مقدارP	VMAT انحراف معیار±میانگین	DIBH انحراف معیار±میانگین	FB انحراف معیار±میانگین	اندام
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود.	۰/۰۰۱	۲/۱۷ ± ۴/۶۴	۲/۱۰ ± ۵/۲۹	۲/۲۰ ± ۸/۵۰	قلب
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود.	۰/۰۰۲	۲/۶۸ ± ۱۰/۵۳	۲/۹۳ ± ۱۰/۵۶	۲/۲۷ ± ۱۴/۴۶	ریه چپ
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود.	۰/۰۲۱	۰/۸۱ ± ۱/۵۴	۰/۴۱ ± ۰/۵۵	۰/۰۶ ± ۰/۹۷	ریه راست
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار بود.	۰/۰۰۱<	۱۰/۴۴ ± ۳۳/۴۲	۶/۲۴ ± ۳۳/۵۲	۴/۹۹ ± ۴۰/۲۲	LAD
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود.	۰/۱۰۳	۱/۶۲ ± ۲/۵۰	۰/۷۵ ± ۰/۹۷	۰/۸۳ ± ۱/۵۱	پستان راست
اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود.	۰/۲۳۶	۲/۰۶ ± ۵۱/۷۸	۱۴/۹۳ ± ۴۶/۶۰	۱۴/۴۳ ± ۴۶/۱۳	CTV

نتایج جدول شماره ۲ نشان داد که میانگین دوز جذب شده توسط قلب، ریه چپ و LAD در روش DIBHنسبت به FB کم‌تر بود. همچنین، اختلاف کلی میان سه روش برای قلب، ریه چپ و LAD از نظر آماری معنی‌دار بود (به‌ترتیب P = ۰/۰۰۱، P = ۰/۰۰۲ و P = ۰/۰۰۱). همچنین، در مقایسه توصیفی سه روش، VMAT کم‌ترین میانگین دوز را برای قلب (۴/۶۴ گری) و LAD (۲۳/۴۲ گری) ایجاد کرد، در حالی که بیش‌ترین میانگین دوز پستان مقابل مربوط به VMAT بود (۲/۵۰ گری). در مورد CTV، میانگین دوز در

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

روش‌های FB، DIBH و VMAT به‌ترتیب ۴۶/۱۳، ۴۶/۶۰ و ۵۱/۷۸ گری بود و اختلاف میان سه روش از نظر آماری معنی‌دار نبود (P = ۰/۲۳۶).

به‌طور کلی، نتایج جدول شماره ۲ نشان داد که استفاده از تکنیک DIBH در مقایسه با FB موجب کاهش میانگین دوز دریافتی قلب شد. همچنین، تکنیک VMAT در برخی اندام‌های در معرض خطر، به‌ویژه LAD، میانگین دوز کم‌تری نسبت به FB ایجاد کرد، هر چند در پستان مقابل با افزایش میانگین دوز همراه بود.

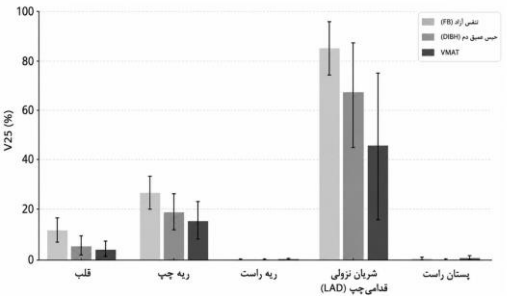
جدول شماره ۳، نتایج مقایسه شاخص‌های حجمی–دوزی V_2 %، V_5 %، V_{10} %، V_{20} % و V_{25} % را برای اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT نشان می‌دهد.

جدول شماره ۳: نتایج آزمون Kruskal–Wallis برای مقایسه کلی شاخص‌های دوز–حجم قلب، ریه چپ، ریه راست، LAD و پستان مقابل در سه روش 3D-CRT-FB، 3D-CRT-DIBH و VMAT-FB

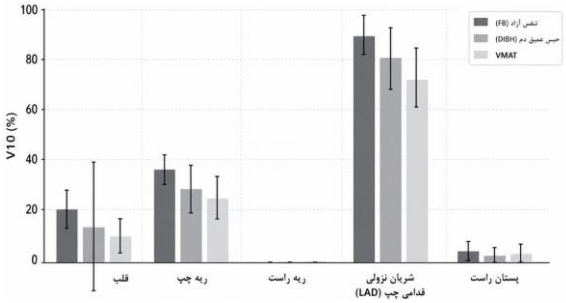
اندام	شاخص	V25%	V20%	V10%	V5%	V2%
قلب	Kruskal-Wallis H	۱۵/۱۷۳	۱۱/۷۸۳	۱۲/۶۷۷	۹/۷۷۱	۱۳/۶۶۷
	df	۲	۲	۲	۲	۲
	Asymp. Sig.	۰/۰۰۱	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۰/۰۰۸	۰/۰۰۱
ریه چپ	Kruskal-Wallis H	۱۱/۵۵۸	۸/۳۱۱	۹/۷۶۴	۵/۳۴۴	۹/۷۳۹
	df	۲	۲	۲	۲	۲
	Asymp. Sig.	۰/۰۰۳	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۰/۰۶۹	۰/۰۰۸
ریه راست	Kruskal-Wallis H	۲/۰۰۰	۶/۴۲۹	۱/۸۵۲	۷/۹۲۴	۱۶/۰۶۵
	df	۲	۲	۲	۲	۲
	Asymp. Sig.	۰/۳۶۸	۰/۰۴۰	۰/۳۹۶	۰/۰۱۹	۰/۰۰۱
LAD	Kruskal-Wallis H	۱۰/۶۱۱	۱۳/۵۲۹	۱۱/۲۰۳	۹/۶۴۳	۴/۷۳۹
	df	۲	۲	۲	۲	۲
	Asymp. Sig.	۰/۰۰۵	۰/۰۰۱	۰/۰۰۴	۰/۰۰۸	۰/۰۹۴
پستان راست	Kruskal-Wallis H	۴/۵۸۶	۱/۴۶۰	۱/۶۴۹	۴/۰۱۶	۶/۳۴۲
	df	۲	۲	۲	۲	۲
	Asymp. Sig.	۰/۱۰۱	۰/۴۸۲	۰/۴۳۸	۰/۱۳۴	۰/۰۴۲

با توجه به نرمال نبودن توزیع داده‌ها، مقایسه بین تکنیک‌ها با استفاده از آزمون ناپارامتری Kruskal–Wallis انجام شد و سطح معنی‌داری آماری P < ۰/۰۵ در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که مقادیر شاخص‌های حجمی–دوزی قلب در تکنیک DIBH نسبت به FB به‌طور معنی‌داری کم‌تر بود. همچنین، برای ریه چپ و LAD نیز در اغلب شاخص‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری بین تکنیک‌ها مشاهده شد، در حالی که این اختلاف برای برخی شاخص‌های ریه راست و پستان مقابل معنی‌دار نبود.

تصاویر شماره ۳ و ۴، به‌ترتیب مقادیر شاخص‌های حجمی–دوزی V_{25} % و V_{10} % را برای اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT نشان می‌دهند. همان‌گونه که در این تصاویر مشاهده می‌شود، تکنیک FB در اکثر اندام‌های مورد بررسی مقادیر بالاتری از شاخص‌های V_{25} % و V_{10} % را نسبت به سایر تکنیک‌ها نشان داد، در حالی که تکنیک DIBH در اغلب ساختارها کم‌ترین مقادیر این شاخص‌ها را داشت. این اختلاف به‌ویژه در قلب، ریه چپ و LAD بارزتر بود.



تصویر شماره ۳: مقایسه شاخص حجمی–دوزی V_{25} % در اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT



تصویر شماره ٤: مقایسه شاخص حجمی–دوزی V_{10} % در اندام‌های در معرض خطر در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT

بحث

هدف این مطالعه، ارزیابی و مقایسه نتایج دوزیمتریک سه تکنیک پرتودرمانی شامل FB، DIBH و VMAT از نظر دوز دریافتی CTV و اندام‌های در

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

معرض خطر در بیماران مبتلا به سرطان پستان چپ بود. برنامه‌های درمانی بر اساس پروتکل مرکز و با رعایت معیارهای متداول برنامه‌ریزی تهیه شدند و پارامترهای دوزیمتریک حجم هدف و اندام‌های در معرض خطر مورد مقایسه قرار گرفتند(۱۸).

نتایج این مطالعه نشان داد که تکنیک DIBH در مقایسه با FB به‌طور معنی‌داری موجب کاهش دوز دریافتی اندام‌های حیاتی، به‌ویژه قلب، ریه چپ و LAD، شد، در حالی که میانگین دوز دریافتی CTV بین تکنیک‌ها اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین بررسی شاخص‌های حاصل از DVH، از جمله V_{25} % و V_{10} %، نشان داد که این تکنیک علاوه بر کاهش نواحی دریافت کننده دوزهای بالا، حجم بافت دریافت کننده دوزهای پایین را نیز به‌طور قابل توجهی کاهش می‌دهد، موضوعی که می‌تواند در کاهش عوارض دیررس قلبی اهمیت بالینی داشته باشد. VMAT بالاترین میانگین دوز CTV را ایجاد کرد، هر چند این اختلاف از نظر آماری معنی‌دار نبود. بنابراین، بر اساس داده‌های موجود در مطالعه حاضر، نمی‌توان برتری VMAT از نظر پوشش حجمی CTV را نتیجه‌گیری کرد. با این حال، مقایسه سه روش نشان داد که VMAT در برخی اندام‌های در معرض خطر، به‌ویژه قلب و LAD، میانگین دوز کم‌تری ایجاد کرد، در حالی که دوز بیش‌تری به پستان مقابل منتقل شد.

اختلاف میانگین دوز قلب و LAD در مطالعه حاضر را می‌توان با توجه به تفاوت قابل توجه حجم و موقعیت آناتومیک این دو ساختار تفسیر کرد. از آنجا که LAD ساختاری کوچک و در مجاورت ناحیه تحت درمان است، ممکن است دوز بالاتری نسبت به میانگین دوز کل قلب دریافت کند؛ در حالی که میانگین دوز قلب بر اساس کل حجم آن محاسبه می‌شود.

در مطالعه حاضر، میانگین دوز قلب در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT به ترتیب ۵۰/۸، ۲۹/۵ و ۶۴/۴ گری بود. این نتایج تا حد زیادی با مطالعات پیشین همخوانی دارد. برای مثال، Vikström و همکاران کاهش میانگین دوز قلب از ۷/۳ به ۷/۱ گری و کاهش دوز LAD از ۱/۱۸ به ۴/۶ گری را با استفاده از DIBH گزارش کردند(۱۰). همچنین Taylor و همکاران میانگین دوز قلب و LAD را به ترتیب ۳/۲ و ۶/۷ گری گزارش کردند، اگر چه در مطالعه آنان از رژیم هیپوفراکشنه استفاده شده بود و بنابراین مقایسه مستقیم با نتایج مطالعه حاضر محدود است(۱۹). Lu و همکاران نیز کاهش متوسط ۲۴ درصدی حجم قلب داخل میدان پرتودرمانی را در تکنیک DIBH گزارش کردند و نشان دادند که در نزدیک به نیمی از بیماران، قلب در هنگام حبس دم به‌طور کامل از میدان تابش خارج می‌شود(۲۰).

مطالعات دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش کرده‌اند، برای مثال Doležel و همکاران کاهش میانگین دوز قلب از ۲۲/۳ به ۲۱/۱ گری و کاهش دوز LAD از ۷۱/۲۴ به ۶۷/۴ گری را با استفاده از DIBH نشان دادند(۹). همچنین Bruzzaniti و همکاران گزارش کردند که این تکنیک می‌تواند دوز دریافتی قلب و LAD را تا ۷۸ درصد کاهش دهد(۱۲). Farzin و همکاران نیز کاهش ۸/۲۳ درصدی میانگین دوز قلب و بهبود معنی‌دار شاخص‌های V_{25} % و V_{30} % را گزارش کردند(۲۱). مرور نظام‌مند Bergom و همکاران نیز نشان داد که استفاده از DIBH می‌تواند میانگین دوز قلب را بین ۲۳ تا ۶۷ درصد کاهش دهد(۲۲).

در مطالعه Sakka و همکاران که تکنیک DIBH را همراه با IMRT و VMAT بررسی کردند، میانگین دوز قلب در IMRT حدود ۲۰ درصد و در VMAT حدود ۲۳ درصد کاهش یافت و دوز LAD نیز به ترتیب ۹ و ۱۶ درصد کم‌تر شد(۱۱). این یافته‌ها با نتایج مطالعه حاضر، که دوز LAD در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT به ترتیب ۲۲/۴۰، ۵۲/۳۳ و ۴۲/۲۳ گری بود، همخوانی دارد.

اهمیت کاهش دوز قلب از آنجا ناشی می‌شود که مطالعات نشان داده‌اند، هر ۱ گری افزایش در میانگین دوز قلب با حدود ۴ درصد افزایش خطر عوارض قلبی و

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

حدود ۴/۷ درصد افزایش خطر بیماری عروق کرونر، شامل انفارکتوس میوکارد و مرگ ناشی از بیماری ایسکمیک قلب، همراه است(۲۳). همچنین Bruzzaniti و همکاران نشان دادند که استفاده از DIBH احتمال بروز عوارض بافت طبیعی (NTCP) برای آسیب‌های قلبی و ریوی را حدود ۱۱ درصد کاهش می‌دهد(۱۲).

در مورد ریه چپ نیز میانگین دوز در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT به ترتیب ۴۶/۱۴، ۵۶/۱۰ و ۵۳/۱۰ گری بود که نشان دهنده کاهش قابل توجه دوز با استفاده از DIBH و VMAT است. Vikström و همکاران نیز کاهش شاخص V_{20} از ۲/۱۲ به ۱۰ درصد را گزارش کردند(۱۰). همچنین Lu و همکاران افزایش قابل توجه حجم ریه در هنگام حبس دم را نشان دادند، اگر چه این افزایش حجم در همه بیماران به کاهش حجم ریه داخل میدان منجر نشد(۲۰). نتایج Doležel و همکاران نیز کاهش میانگین دوز ریه و شاخص V_{20} را با استفاده از DIBH تأیید کرده‌اند(۹). علاوه بر این، برخی مطالعات کاهش ۱۵ تا ۱۷ درصدی میانگین دوز ریه و در برخی موارد کاهش‌هایی تا ۶۴ درصد را گزارش کرده‌اند(۲۷ – ۲۴).

در خصوص پستان مقابل، میانگین دوز در تکنیک‌های FB، DIBH و VMAT به ترتیب ۵۱/۱، ۹۷/۰ و ۵۰/۲ گری بود و بیش‌ترین دوز در تکنیک VMAT مشاهده شد. اگر چه برخی مطالعات احتمال افزایش دوز پستان مقابل در DIBH را به دلیل تغییرات هندسی میدان تابش مطرح کرده‌اند، اما نتایج مطالعه حاضر نشان داد که DIBH کم‌ترین دوز را به این اندام وارد می‌کند(۲۴). این اختلاف احتمالاً به تفاوت در تکنیک درمان، روش برنامه‌ریزی، ویژگی‌های آناتومیک بیماران و معیارهای طراحی درمان بین مطالعات مربوط باشد. همچنین Sakka و همکاران افزایش دوز پستان مقابل در IMRT و کاهش آن در VMATرا گزارش کردند، در حالی که Vikström و همکاران تنها افزایش‌های اندکی را مشاهده کردند که آن را به افزایش حجم ریه و جابه‌جایی قلب نسبت دادند(۱۰، ۱۱).

این مطالعه دارای چند محدودیت است که باید در تفسیر نتایج مورد توجه قرار گیرد. نخست، حجم نمونه نسبتاً کوچک (۱۰ بیمار) است و بنابراین ممکن است توان مطالعه برای شناسایی برخی تفاوت‌ها و نیز تعمیم‌پذیری نتایج محدود باشد. علاوه بر این، تفاوت‌های بین‌فردی در ویژگی‌های آناتومیک، از جمله شکل قفسه سینه، اندازه و شکل پستان، حجم ریه‌ها و موقعیت نسبی قلب و LAD نسبت به دیواره قفسه سینه، می‌تواند بر میزان کاهش دوز حاصل از DIBH تأثیرگذار باشد. از این رو، بخشی از تغییرپذیری مشاهده شده در پارامترهای دوزیمتریک ممکن است ناشی از تفاوت‌های آناتومیک بیماران باشد. در مطالعه حاضر، ارتباط کمی بین شاخص‌های آناتومیک و میزان کاهش دوز به‌طور اختصاصی بررسی نشد، زیرا این متغیرها به‌صورت استاندارد و از پیش تعریف شده برای تحلیل همبستگی ثبت نشده بودند. بنابراین، مطالعات آینده با حجم نمونه بزرگ‌تر و طراحی مناسب برای ارزیابی شاخص‌های آناتومیک می‌توانند نقش ویژگی‌های فردی بیماران را در میزان سود دوزیمتریک DIBH دقیق‌تر مشخص کنند.

نتایج این مطالعه نشان داد که استفاده از DIBH در مقایسه با FB موجب کاهش معنی‌دار دوز دریافتی قلب، ریه چپ و LAD شد، در حالی که میانگین دوز دریافتی CTV بین تکنیک‌های مورد بررسی اختلاف آماری معنی‌داری نداشت. همچنین، اگر چه تکنیک VMAT کم‌ترین دوز را برای برخی اندام‌های در معرض خطر، به‌ویژه قلب و LAD، فراهم کرد، با افزایش دوز دریافتی پستان مقابل همراه بود. با توجه به نتایج این مطالعه، استفاده از تکنیک DIBH می‌تواند به‌عنوان یک روش مؤثر برای کاهش دوز دریافتی اندام‌های حیاتی در پرتودرمانی سرطان پستان چپ، به‌ویژه در بیمارانی که توانایی انجام DIBH را دارند، مورد استفاده قرار گیرد. انجام مطالعات با حجم نمونه بیش‌تر و ارزیابی هم‌زمان شاخص‌های دوزیمتریک

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

پیشرفته‌تر و پیامدهای بالینی می‌تواند به تعیین دقیق‌تر مزایا و محدودیت‌های این تکنیک کمک کند.

سپاسگزاری

نویسندگان مراتب قدردانی و سپاس خود را از مرکز رادیوتراپی بیمارستان سیدالشهدا (ع) و مرکز تصویربرداری و درمانی رسا، شهرک سلامت اصفهان به دلیل حمایت‌ها و همکاری‌های ارزشمند در اجرای این پژوهش اعلام می‌کنند. نویسندگان اعلام می‌کنند که در ارتباط با این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافعی وجود ندارد.

References

1- Harbeck N, Penault-Llorca F, Cortes J, Gnant M, Houssami N, Poortmans P, etal. Breast cancer. Nat Rev Dis Primers 2019;5(1):66 PMID: 31548545.

2- Taylor C, Kirby AM. Cardiac side-effects from breast cancer radiotherapy. Clin Oncol (R Coll Radiol) 2015;27(11):621-629 PMID: 26133462.

3- Laugaard Lorenzen E, Christian Rehammar J, Jensen MB, Ewertz M, Brink C. Radiation-induced risk of ischemic heart disease following breast cancer radiotherapy in Denmark, 1977-2005. Radiother Oncol. 2020 Nov;152:103-110. doi: 10.1016/j.radonc.2020.08.007. Epub 2020 Aug 25. PMID: 32858067.

4- Cheng YJ, Nie XY, Ji CC, Lin XX, Liu LJ, Chen XM, Yao H, Wu SH. Long-Term Cardiovascular Risk After Radiotherapy in Women With Breast Cancer. J Am Heart Assoc. 2017 May 21;6(5):e005633. doi: 10.1161/JAHA.117.005633. PMID: 28529208; PMCID: PMC5524103.

5- Darby SC, Ewertz M, McGale P, Bennet AM, Blom-Goldman U, Brønnum D, etal. Risk of ischemic heart disease in women after radiotherapy for breast cancer. N Engl J Med 2013;368(11):987–998 PMID: 23484825.

6- Aznar MC, Duane FK, Darby SC,Wang Z,Taylor CW. Exposure of the lungs in breast cancer radiotherapy: a systematic review of lung doses published 2010–2015. Radiother Oncol 2018;126(1):148–154.

7- Jaworski C, Mariani JA, Wheeler G, Kaye DM. Cardiac complications of thoracic irradiation. J Am Coll Cardiol 2013; 61(23): 2319–2328 PMID: 23583253.

8- Wolf J, Stoller S, Lübke J, Rothe T, Serpa M, Scholber J,etal. Deep inspiration breath-hold radiation therapy in left-sided breast cancer patients: a single-institution retrospective dosimetric analysis of organs at risk doses. Strahlenther Onkol 2023;199(4):379–388 PMID: 36074138.

9- Doležel M, Odrážka K, Vaňásek J. Deep-inspiration breath hold radiotherapy in patients with left-sided breast cancer after partial mastectomy. Rozhl Chir 2021;100(4):180–185 PMID: 34182760.

10- Vikström J, Hjelstuen MH, Mjaaland I, Dybvik KI. Cardiac and pulmonary dose reduction for tangentially irradiated breast cancer, utilizing deep inspiration breath-hold with audio-visual guidance, without compromising target coverage. Acta Oncol 2011;50(1):42–50 PMID: 20843181.

11- Sakka M, Kunzelmann L, Metzger M, Grabenbauer GG. Cardiac dose-sparing effects of deep-inspiration breath-hold in left breast irradiation: is IMRT more beneficial than VMAT? Strahlenther Onkol 2017;193(10):800–811 PMID: 28646251.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

12- Bruzzaniti V, Abate A, Pinnarò P, D'Andrea M, Infusino E, Landoni V, etal. Dosimetric and clinical advantages of deep inspiration breath-hold (DIBH) during radiotherapy of breast cancer. J Exp Clin Cancer Res 2013;32(1):88 PMID: 24423396.

13- Kunheri B, Kotne S, Nair SS, Makuny D. A dosimetric analysis of cardiac dose with or without active breath coordinator moderate deep inspiratory breath hold in left sided breast cancer radiotherapy. J Cancer Res Ther 2017;13(1):56–61 PMID: 28508834.

14- Lin CH, Lin LC, Que J, Ho CH. A seven-year experience of using moderate deep inspiration breath-hold for patients with early-stage breast cancer and dosimetric comparison.Medicine(Baltimore)2019;98(19):e15510 PMID: 31083193.

15- Borgonovo G, Paulicelli E, Daniele D, Presilla S, Richetti A, Valli M. Deep inspiration breath hold in post-operative radiotherapy for right breast cancer: a retrospective analysis. Rep Pract Oncol Radiother 2022; 27(4):717–723 PMID: 36196427.

16- Zeng C, Fan Q, Li X, Song Y, Kuo L, Aristophanous M, etal. A potential pitfall and clinical solutions in surface-guided deep inspiration breath hold radiation therapy for left-sided breast cancer. Adv Radiat Oncol 2023;8(6):101276 PMID: 38047221.

17- Peters GW, Gao SJ, Knowlton C, Zhang A, Evans SB, Higgins S, etal. Benefit of deep inspiratory breath hold for right breast cancer when regional lymph nodes are irradiated. Pract Radiat Oncol 2022; 12(1): e7–e12 PMID: 34508890.

18- Mayr NA, Borm KJ, Kalet AM, Wootton LS, Chadderdon AL, Combs SE, etal. Reducing cardiac radiation dose from breast cancer radiation therapy with breath hold training and cognitive behavioral therapy. Top Magn Reson Imaging 2020;29(3):135–148 PMID: 32568976.

19- Taylor CW, Povall JM, McGale P, Nisbet A, Dodwell D, Smith JT, etal. Cardiac dose from tangential breast cancer radiotherapy in the year 2006. Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008;72(2):501–507 PMID: 18374500.

20- Lu HM, Cash E, Chen MH, Chin L, Manning WJ, Harris J, Bornstein B. Reduction of cardiac volume in left-breast treatment fields by respiratory maneuvers: a CT study. Int J Radiat Oncol Biol Phys. 2000 Jul 1;47(4):895-904. doi: 10.1016/s0360-3016(00)00512-5. PMID: 10863057.

21- Farzin M, Garosi M, Vand Rajabpour M, Gholami S, Gholami S. Deep inspiration breath hold (DIBH) for cardiac sparing in breast cancer radiotherapy. Int J Radiat Res 2022;20(1):91–95.

22- Bergom C, Currey A, Desai N, Tai A, Strauss JB. Deep inspiration breath hold: techniques and advantages for cardiac sparing during breast cancer irradiation. Front Oncol 2018;8:87 PMID: 29670854.

23- Salvestrini V, Iorio GC, Borghetti P, De Felice F , Greco C , Nardone V ,etal. The impact of modern radiotherapy on long-term cardiac sequelae in breast cancer survivor: a focus on deep inspiration breath-hold (DIBH) technique. J Cancer Res Clin Oncol 2022;148(1):409–417.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]

24- Zurl B, Stranzl H, Winkler P, Kapp KS. Quantitative assessment of irradiated lung volume and lung mass in breast cancer patients treated with tangential fields in combination with deep inspiration breath hold (DIBH). Strahlenther Onkol 2010;186(3):157–162 PMID: 20165819.Jensen CA, Funderud M, Lervåg C. Free breathing VMAT versus deep inspiration breath-hold 3D conformal radiation therapy for early stage left-sided breast cancer. J Appl Clin Med Phys 2021;22(4):44–51 PMID: 33638600.

25- Ferini G, Molino L, Tripoli A, Valenti V, Illari SI, Marchese VA,etal. Anatomical predictors of dosimetric advantages for deep-inspiration-breath-hold 3D-conformal radiotherapy among women with left breast cancer. Anticancer Res 2021;41(3):1529–1538 PMID: 33788746.

26- Jensen CA, Funderud M, Lervåg C. Free breathing VMAT versus deep inspiration breath-hold 3D conformal radiation therapy for early stage left-sided breast cancer. J Appl Clin Med Phys 2021;22(4):44–51 PMID: 33638600.

27- Lee S, Lee D, Verma V, Waters D, Oh S, Colonias A, etal. Dosimetric benefits of dynamic conformal arc therapy-combined with active breath-hold in lung stereotactic body radiotherapy. Med Dosim 2022; 47(1): 54–60 PMID: 34583857.

[Downloaded from jmums.mazums.ac.ir on 2026-10-13]