



2021年12月より稼働を開始したMRリニアック「Elekta Unity（エレクタ ユニティ：エレクタ）」。高画質のMRI画像でリアルタイムに照射状況を確認しながら、ピンポイントで正確にがんの病巣に放射線照射ができる即時適応放射線治療を実現。治療成績の向上、副作用の低減、治療期間の短縮などが期待される、より安全で精度の高いがん治療を実現する装置である。



## 千葉大学医学部附属病院

# 意欲的な新棟で放射線科が大きく変貌果たす 見ながら照射する最先端のMRリニアック等、 世界水準の放射線治療体制が実績を示し始める

全国的にも大きなプレゼンスを誇る千葉大学医学部附属病院の新中央診療棟のオープンが2021年1月のことであった。同棟には、高レベルの集中治療センターや救命救急センターの他、大きく変貌した放射線部門が入っているのだが、中でも放射線部門は最先端の各種モダリティを導入し、もとより高かった診療レベルを更に引き上げている。特筆すべきは、今、放射線治療装置の最先端であるMRリニアックの導入である。稼働開始から約1年弱経た、その有用性を中心に、新しい放射線治療関連機器の導入経緯と評価を放射線科の宇野教授他、関係諸氏に聞いてみた。

千葉大学大学院医学研究院  
画像診断・放射線腫瘍学 教授  
千葉大学医学部附属病院  
放射線科 科長

### 宇野 隆氏に聞く

——放射線治療部門の概要からお聞かせください。

当院の放射線治療部門では、外部照射及び小線源治療、アイソトープ治療などを行っています。現在の体制は、放射線治療専門医7名、医学物理士は常勤・非常勤合わせて5名、診療放射線技師8名と看護師3名で、質の高いチーム医療を実践しています。なお、年間の新患受け入れは約700名です。

——昨年オープンした中央診療棟に合わせて実施した放射線科のリニューアルについてお聞かせください。

旧施設では、新しいモダリティが登場する度に新しい建屋を建てて対応するなどしていたため、病院内の様々な場所に機器が分散するなどしていました。例えば、放射線治療外来が外来診療棟の5階にあるのに、リニアックが別棟の地下1階にある、CTとMRIは全く別の棟へ配置されるなど、医療スタッフや患者さんの動線が長く複雑となりました。そこで、新しい中央診療棟建設にあたっては、主たる画像診断機器と操作室、読影室やカーンファレンスルームを同一建物の地下3階から地下1階に揃え、併設する新リニアック棟と合わせて有機的に配置することにより、放射線部門全体の大幅リニュー

アルを果たしました。

——最新のMRリニアック「Elekta Unity（エレクタ ユニティ：エレクタ）」をリニューアルと同時に導入されました。

従来の高精度放射線治療は、CTを主体に予め体内での動きを評価・予測してマージンを設定し、治療直前のCTで位置を確認して照射するのが一般的でした。一方、MRリニアック「Elekta Unity」では、コントラスト分解能の高い1.5T MR画像をもとに、照射直前に腫瘍や正常組織の位置や輪郭を修正し、その時の臓器位置に対応した治療計画を行った後に照射を行う、MR画像誘導即時適応放射線治療が可能となりました。さらに、治療中に体内をリアルタイムにMRシネ画で確認しながら照射することにより、正常組織を避けつつ確実にがんを照射することが可能となりました。新たな放射線治療技術の臨床的な有用性はもちろん、患者さんにより大きな安心感を与えることができることを期待して、この装置の導入を熱望しました。

当時、当院のリニアックがちょうど更新時期を迎えていたこと、そして中央診療棟が新しく建設されることなど良いタイミングであったこと、加えて、新たなセールスポイントになるという病院の期待もあり、幸いにも導入することができました。

——「Elekta Unity」による治療の件数とその内訳についてお聞かせください。

2021年12月から今年9月までに50例の治療を行っています。内訳は、前立腺がんが20例と最も多いですが、他には

肝がん、膵がん、リンパ節オリゴ転移、骨転移、腎がんなどへの治療の実績があります。治療時間は、ビームを出す時間は数分〜10分程度ですが、簡単なリンパ節オリゴ転移等であれば30分程度、前立腺がんが30分から1時間程度、臓器輪郭の修正が多少複雑となる膵がんの治療では、1時間以上、場合によっては2時間近くかかることもあります。

「Elekta Unity」の特徴を活かし、これまでの照射技術では治療が難しい症例にも対応しています。例えば、門脈や大血管が近くラジオ波焼灼療法できない肝がん症例への治療依頼が多くなりました。また、今までは放射線治療装置のない施設からの依頼が多かったのですが、MRリニアックの稼働後、がんセンターや赤十字病院など、地域医療を担うような施設から膵がんの患者さんを紹介されるケースが増えています。これらの施設の先生方は、MRリニアックの利点をよく理解されて紹介してくださっているのだと思われまます。

もう1点、「Elekta Unity」の大きな特徴として、正常組織への被ばくが低減できることで超寡分割照射が可能となり、照射回数を大幅に減らせる点が挙げられます。例えば、前立腺がんのIMRT治療では、概ね4週間、長い照射だと7週間以上治療を続けなければなりません。

肝ならば、1日で治療が終わるロボット手術で済ませたいという患者さんも多かったようですが、「Elekta Unity」であれば5回の照射で治療を終えることができます。そのため、ロボット手術と放射線治療とで迷っていた患者さんや、IMRTで7週間はちょっと通院が難しい、という患者さんが多く紹介されるようになってきました。最近では、特にコロナ禍の影響で病院への通院日数を減らしたいと希望する傾向があるので、そのような方々に治療に際して良い選択肢を提供できるようになった点も良かったと感じています。

——「Elekta Unity」の臨床上の先生、ご自身のご評価をお聞かせください。

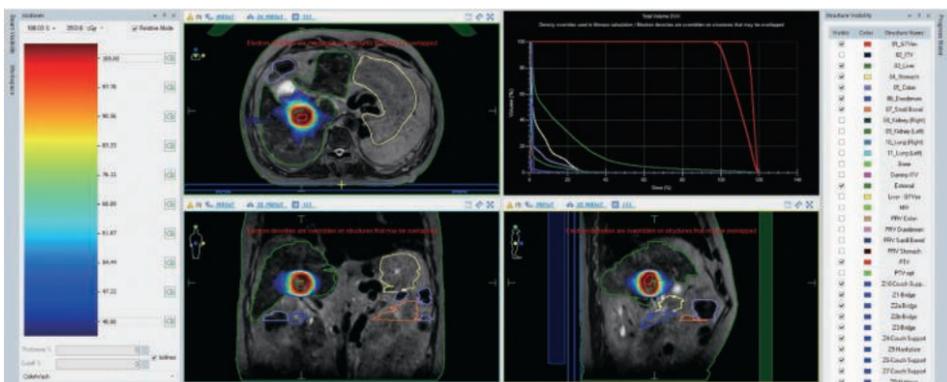
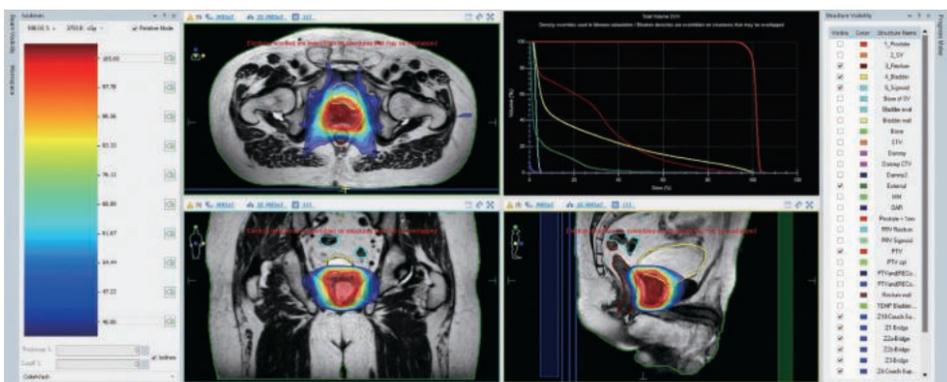
MR画像による即時適応放射線治療、そしてやはり何より照射している体内を画像でリアルタイムに見られる点が最も優れた点と言えるでしょう。消化器系のがんへの照射、中でも膵がんへの照射などは、どうしても時間がかかりますが、MRリニアックによる治療では、マージンを減らし線量を腫瘍に正確に照射することによって、放射



### 宇野 隆 (うの・たかし) 氏

1988年千葉大学医学部卒。同年同大学医学部附属病院放射線科に入局。国立国際医療センター放射線科等を経て、2003年千葉大学大学院医学研究院助教授、2012年より現職。2022年11月、日本放射線腫瘍学会理事長就任。

## MRリニアック「Elekta Unity」の線量分布図



MRリニアック「Elekta Unity」の線量分布図。照射当日の病巣や正常臓器の位置を高画質のMRIでリアルタイムに確認しながら病巣のみに照射することができるため、治療計画においてマージンを大きく取る必要がなく、周囲の正常な臓器への影響を抑え、高い線量で少ない回数での放射線治療が実現できる。

線による急性期の副反応があまり見られなくなった印象があります。照射中から照射直後に、食欲が減った、下痢になった、腹痛があるという訴えもあまり聞かなくなりました。患者さんの立場からすれば、治療に伴う苦痛が減ることは、非常に良いことだと思います。

例えば、これまで肝がんの治療では、単純CTでは描出が困難なことから、呼吸性移動に対応するために肝臓に金属マーカーを刺入して、それを確認あるいは追尾して治療を行ってきました。マーカーの刺入による侵襲があるので若干躊躇することもありました。しかし、「Elekta Unity」ではマーカーの刺入が不要で、腫瘍を直接高磁場MRIで可視化して治療することが可能なため、患者さんに放射線治療をより薦めやすくなりました。

院内でも、消化器内科や泌尿器科の紹介件数が増え、また、婦人科がんのリンパ節オリゴ再発なども当院で治療するようになっていきます。「Elekta Unity」は様々な患者さんに対して、より少ない侵襲で精度の高い放射線治療を提供することができる治療装置であると実感しています。

——MRリニアックならではの、人的体制等はありませんか。  
当院では、「Elekta Unity」運用にあたり、放射線治療専門医、医学物理士、診療放射線技師、特に磁気共鳴専門技術者、そして看護師によるチーム医療に加えて、画像診断専門医にもMR画像に関するコンサルテーションを受けられるという万全のサポート体制を整備しています。

の井垣 浩先生らと共にMR画像誘導即時適応放射線治療ガイドラインを作成しましたが、そこでも、画像診断医がMRリニアック運用の際に対応してもらえ体制を整備すべきであることが記載されています。

——先生の専門でもある小線源治療についても充実した体制ですね。

新棟オープンを機に密封小線源治療装置フレキシシトロンHDR（エレクタ）を導入しました。アプリケーションも豊富に揃ったため、安心して導入できました。同装置による画像誘導小線源治療では、組織内針を刺入可能な新たなアプリケーションを使用することで、若手医師でも熟練した医師のように高精度な組織内照射併用腔内照射を実施することができるようになりました。

小線源治療の症例数は増加傾向にあり、当院では婦人科と密に連携することにより子宮頸がんの症例を中心に年間約50症例の治療を行っています。例えば、子宮頸がんのⅡB期の症例は、日本では手術を行う施設が多いのですが、当院では放射線治療を施行しています。

——今般のリニューアルで、放射線治療関連の機器・システムのメーカーを統一した理由をお聞かせください。

治療装置の性能や予算等を含めて考えた結果、エレクタ製に集約しました。今回のリニューアルでは、「Elekta Unity」の他に最新型のリニアック「Versa HD」2台も導入しています。また、他にも体表面画像誘導放射線治療支援システム「Catalyst HD」も併せて導入しています。今後は多発脳転移に対する定位照射（S

2台の「Versa HD」に装備された体表面画像誘導放射線治療ソリューション「Catalyst HD（エレクタ）」。光学式プロジェクションと3台のカメラによる体表面リアルタイムスキャンにより、治療前の位置合わせだけでなく、治療中のリアルタイムモニタリングが可能。頭部定位放射線治療や乳がんに対する深呼吸吸息止照射（DIBH）を実現する。



中央診療棟オープン時に導入したリニアック「Versa HD（エレクタ）」。千葉大学医学部附属病院では同装置を2台導入。1台が万一のトラブルを起こしても、別の1台で全く同じ治療が可能であり、リスクヘッジも万全。治療室内は明るく、天井にはパーチャルウィンドウをはめ込むなど、患者のアメニティにも配慮した設計となっている。



RS、SRT）などの準備を進めているところですが、

「Elekta Unity」が万一トラブルを起こした際にも、同社の治療計画装置を連携させることで「Versa HD」で引き継いで治療を継続するための体制を構築するなど、リスクヘッジの観点からも同一社製のメリットは大きいと思います。装置を1社のものに統一することで、導入・運用コストを抑えられたことは確かです。

——「Elekta Unity」稼働開始から約1年、総合的な評価をお聞かせください。

国内1号機の稼働ということもあり、システムや機械的なトラブルもなくなはな

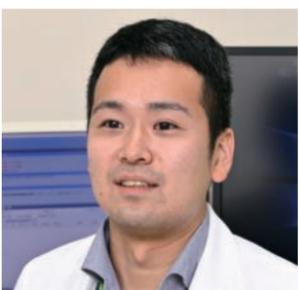
いですが、全体として満足すべき成果を挙げていると感じています。

今後は、1.5T MRリニアックの特性を生かし、機能画像を用いたよりピンポイントな画像誘導放射線治療を実施したいと考えています。海外では、前立腺がんへの治療などでがん病巣に絞って更に高い線量を投与するといった治療法がすでに行われています。

機能画像や核医学的により感度の高い検査で描出されたがん病変に絞って、線量を上げて照射することができれば、これまで以上に個別化された高精度放射線治療が提供できるのではないかと思います。

## 千葉大学医学部附属病院 放射線科 MRリニアックならではの管理・運用方法のトレーニングを実施 エレクタ製の放射線治療関連機器・システムの有効活用を図る

千葉大学大学院医学研究科 MR画像誘導即時適応放射線治療学寄附講座 医学物理士 恒田雅人氏に聞く



恒田雅人（つねだ・まさひと）氏 1990年東京都生まれ。2018年広島大学大学院医歯薬保健学研究科修了。2016年より東京女子医科大学医学部放射線腫瘍学講座特任助教、2019年より同助教を経て、2021年より現職。

千葉大学医学部附属病院放射線科には非常勤を含め医学物理士15名が勤務し、放射線治療における精度管理や高精度放射線治療の治療計画作成、最新のMRリニアックを含む機器の精度管理を行っている。放射線科及び放射線部のリニューアルを機に入職した医学物理士の恒田雅人氏は、MRリニアック「Elekta Unity」を始めとするエレクタ製の放射線治療関連機器・システムの導入に際しての準備・学習について、つぎのように話す。

「Elekta Unity」は、国内1号機ということもあって、国内に参考となる施設はありませんでしたから、エレクタのグローバル部門からのサポートを受けてトレーニングを受けました。当然、エレクタからのトレーニングだけに留まらず、同装

置を運用している世界中の施設からの論文を読み漁り、MRI磁場の中で放射線がどのような挙動を示すのか、また、汎用型リニアックと比較してMRリニアックにはどのような特徴があるのかなどを調べて、後の品質管理の参考としました」

なお、千葉大学病院では、医学物理士だけでなく、MRIを使用する観点からMRI専門の診療放射線技師もトレーニングに参加したという。

### MRリニアック「Elekta Unity」 従来型リニアックとの違いを把握しつつ 即時適用放射線治療の実施を推進する

MRリニアックと従来型のリニアックとの違いについて、恒田氏はつぎのように話す。

「汎用リニアックでは、CBCT画像の中心と放射線照射中心、レーザーの中心とを合わせることで高い照射位置精度が実現されます。しかし、MRリニアックの場合、考え方が少し異なります。MR装置の躯体とリニアックの躯体の中心は一致するように設置されます。しかし、MR画像の中心は、MR装置躯体の中心と必ず一致するわけではないため、MR画像中心と放射線照射中心がわずかにズレてしまうことが知られています。この装置固有のズレを治療計画に考慮しないとできません。また、画像上で見えている

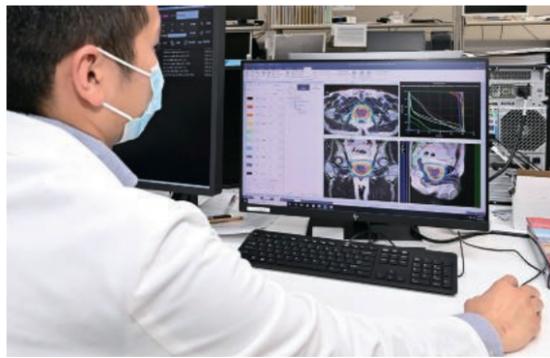
腫瘍に対して放射線が正しく当たっているかの確認や、MR画像ならではの特性に対応する検証ツールを使い分ける必要がある点も重要です」

恒田氏は「Elekta Unity」の臨床的有用性について、つぎのように話す。

「最初の患者さんへの照射が強く印象に残っていますね。腫瘍部位が腸管に近く、照射の難易度は高かったのですが、照射している様子をリアルタイムで見ることができるとはやはり驚かされました。治療中はモニター上にターゲットとなる輪郭が表示されます。呼吸や蠕動運動による影響を受ける症例でしたが、腫瘍が常に輪郭の内部に留まっていることを確認しながら照射を続けられ、非常に安心感があったことを覚えています」

治療計画作成の際は、通常のリニアックとMRリニアックの違いに留意する必要があると恒田氏は話す。

「当院の『Versa HD』のカウチと比べ、『Elekta Unity』のカウチは線量をロスすることから、その分照射線量が多く必要



放射線治療計画システム「Monaco (エレクタ)」で治療計画を作成する恒田氏。短時間で効果的なプランニングと、計画作成および治療ワークフローの最適化を実現している。

MRリニアック「Elekta Unity」を操作する宇野氏、恒田氏、榎田氏。「Elekta Unity」運用の際には放射線治療医、医学物理士、診療放射線技師、各1名ずつが参加。このほか、画像診断医からMRI画像に関するコンサルテーションを受ける手厚いサポート体制を整備している。



になるためビーム配置に考慮が必要で、ワークフローは複雑になります。治療計画作成自体にそれほど差はありません。なお、即時適用放射線治療を実施する際は、治療を担当するスタッフと照射に立ち会うスタッフが異なる可能性もある。より多くのスタッフ間で放射線治療に関する情報を共有する必要があります。そのため仕組み作りが必要でしょう」

前出のとおり、放射線科のリニューアルに際し、エレクタ製の放射線治療機器・システムに統一されたが、それらエレクタ製の放射線治療機器・システムについて、恒田氏はつぎのように話す。

「総じて高く評価できますが、例を挙げれば、今回導入した体表面画像誘導放射線治療ソリューション『Catalyst HD』や、体表面における位置精度が高いので、脳やSRSなどに有用と考えています。このシステムを活用して、照射位置の精度を定量化し、マージンの低減について放射線治療医と相談しながら治療を実施していく所存です」

医療安全と治療の継続性の観点からも、放射線治療関連の機器・システムをエレクタ製に統一したメリットを、恒田氏はつぎのように話す。

「当院は『Versa HD』を2台導入したことで、どちらの部屋でも同じ治療ができるようになっており、どちらかが万が一トラブルで稼働できなくても、もう1台で治療を継続することが可能です。これはElektaがサポートするAGL (Accelerated Go Live) サービスにより実現されており、迅速かつ安全な導入の一助となりました」

れています。50年先まで第一線で使える施設を目指したつもりですが、これも大げさな表現ではないでしょう」

### MRリニアック「Elekta Unity」の柱として設置 放射線部リニューアルの柱として設置 1号機ならではの苦労の克服目指す

MRリニアック「Elekta Unity」導入時には、様々な苦労があったと榎田氏は話す。

「新棟にMRリニアック『Elekta Unity』の導入が決まった際、エレクタに同装置搬入の際に注意すべき点を質したところ、いろいろ回答がありました。装置全体が大きく回転するので床面を深く掘り下げる必要があることなど、通常のリニアックの部屋を大きくするだけでは設置が困難なことは印象的でした。そのため、設置する部屋だけでなく、搬入用の動線確保など、MRリニアック専用の設計に苦勞しました」

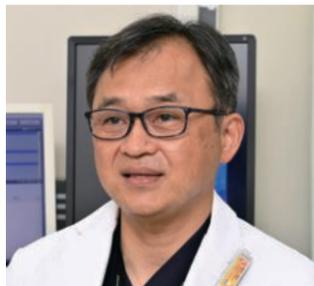
また、同装置による臨床現場でも、初の装置であることから様々な点に気を遣うと榎田氏は話す。

「一般的なリニアックと異なり、治療室内には磁場がありますので、特に医療安全面で気を遣っていますね。そのために、治療には放射線治療を担当する技師だけでなく、MRI専門の診療放射線技師を担当に付けています。

また、狭い空間内に患者さんを1人きりにさせた上、長時間動かないでいてもらう点についても申し訳なく思っており、いかに快適性を高めるかが私たちの課題と考え、エレクタと協議しながら取り組

## ■千葉大学医学部附属病院 放射線部 新中央診療棟建設を機に放射線部門を大幅にリニューアル 業務の効率化に加えて患者に対するアメニティ向上も実現

千葉大学医学部附属病院 放射線部 放射線部 副部長／診療放射線技師長 榎田喜正氏に聞く



榎田喜正 (ますだ・よしただ)氏 1964年千葉県生まれ。1986年千葉大学医学部附属診療放射線技師学校卒。同年から現在に至るまで千葉大学医学部附属病院 放射線部に勤務。2010年千葉大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士(工学)。同年より現職。

千葉大学医学部附属病院 放射線部には50名以上の診療放射線技師が所属しており、そのうち10名が放射線治療部門を担当している。放射線部 副部長／診療放射線技師長の榎田喜正氏は、その担当内容をつぎのように話す。

「副主任以上の診療放射線技師は、その部署専属として勤務しますが、副主任以下の若手の診療放射線技師は、画像診断と放射線治療双方に精通してもらうことを目的に、ローテーションで各モダリティの業務を担当させています。

放射線治療に関しては、3台稼働しているリニアック1台ずつに3名、小線源を導入することでもかなり快適性を担保できると考えています。MRリニアックと治療の快適性においては世界でナンバー1になりたいですね」

今回の「Elekta Unity」導入に合わせ、

千葉大学医学部附属病院の放射線治療部門は装置・システムをエレクタ製に一新したが、以前は他メーカーの装置・システムであったことから、エレクタ製品に若干慣れが必要であったと榎田氏は話す。「宇野教授が述べられているとおり、導入・運用コストを始め、複眼的な視座から放射線治療部門ではエレクタ製の機器・シ

### 放射線治療部門のリニューアル 最先端の機器・システムの導入と共に 部署の集約化で業務の効率化を図る

前出のとおり、2021年の中央診療棟完成に伴い、放射線治療部門を大幅にリニューアルしたが、旧施設のことをよく知る榎田氏はリニューアル後の変化について話す。

「旧施設は昭和50年代に建てられた施設で、まだCTが世の中のない頃に計画された建物です。天井も低く、新しいモダリティが登場する度に、新たに建屋を増築するなどの対応をしていたため、スタッフの動線が悪く、患者さんどこに向かえば良いのか迷ってしまうほどの状態でした。

今回のリニューアルでは、放射線部門を1カ所に集約し、飛び地ができるような設計にはしないようにしています。また、将来の装置の入れ替えや拡張に対応できるように、部屋などは大きく広めに設計しました。加えて、放射線部門を訪れる患者さんに対しても緊張せずに診療を受けられるよう、放射線部門全体を間接照明で照らし、その照明の色でどの検査・治療部署にいるかを容易に見分けられるようにも配慮しました。おかげで、私たちにも働きやすい職場になりましたし、それにも増して患者さんから大いに喜ば

ステムに統一しました。なお、他の画像診断に関するモダリティも同様で、それぞれほぼ1社にまとめています。これは、スタッフのトレーニングがしやすい点でもメリットと言えるでしょう。今でこそ、前メーカーのクセが残っており、エレクタ製の装置・システムを扱うのが初めてですが、スタッフも多いので苦労していませんが、いずれ慣れれば問題は雲散霧消していくと前向きに捉えています。

「Elekta Unity」は放射線治療部門の柱となる装置ですが、1号機ということもあり、機械的なトラブルも少なくありません。しかし、現在はエレクタのスタッフが機械やソフトウェアのトラブルに迅速に対応してもらっていることから、実際の治療には大きな支障が出ていないのは幸いです」

## 千葉大学医学部附属病院



2021年1月、千葉大学医学部附属病院では待望の新・中央診療棟がオープン。延床面積は約3万3000㎡、地上6階、地下3階の建物に屋上ヘリポートを備え、今回取材した放射線部門のほか、集中治療センターや救命救急センターを設置。手術室も3室増設して20室とするなど、病院機能が一層充実したことで、同院では救急医療を含め、今後さらに地域医療への貢献が果たせるとしている。

住 所：千葉県千葉市中央区支鼻1-8-1  
病床数：850床  
病院長：横手 幸太郎