

ラジオロジー

放射線医療と市民のみなさんをつなぐ広報誌

40
2023年

特集◎PET/MRIってなに？

神戸大学医学部附属病院 放射線部
福井大学 高エネルギー医学研究センター
野上 宗伸(のがみ むねのぶ)

■世界の街角から
太陽輝くサンディエゴ(米国)

金沢大学医薬保健研究域
田中 利恵(たなか りえ)

■My Hobby
ささやかな楽しみ

茨城県立医療大学
阿部 慎司(あべ しんじ)

患者さんに

やさしい放射線医学を求めて…

ラジオロジー(Radiology)とは放射線科学のことです。

ラジオロジーは体の中を切らず診るための科学です。エックス線写真からはじまり、日々に進歩しています。

日本ラジオロジー協会

「みえる・わかる・なおる」をテーマとして放射線科学は医療に幅広く貢献しております。

[特集]

PET/MRIってなに?

神戸大学医学部附属病院 放射線部
福井大学 高エネルギー医学研究センター
野上 宗伸(のがみ むねのぶ)

はじめに

PET/MRI(positron emission tomography/magnetic resonance imaging、陽電子放出核種断層撮像/磁気共鳴画像)装置とは、PET/CT(computed tomography、コンピューター断層画像)装置と同じように、PETとMRIと言う異なる装置が一体となった複合型の画像診断装置です。放射性医薬品を用いる核医学検査であるPETと、磁場を利用した磁気共鳴画像であるMRIという、まったく異なる画像検査を同時に行い診断する事が出来ます。PET/MRI一体型装置は本邦では2012年に薬事承認され、¹⁸F-FDG (fluorodeoxyglucose)による悪性腫瘍の病期診断および転移・再発診断を目的として保険適用となりました。PET装置をMRIの磁場の中に入れて作動させることに技術的なハードルがあったため、PET/CTと比べて医療への応用が遅れましたが、現在では国内複数個所の医療機関で保険診療として検査が行われています。PET/MRI装置は、単にPET/CTのCTがMRIに置き換わった装置ではなく、PET/CTとは異なる様々な利点を有します。本稿ではPET/MRI装置の魅力と、患者さんに供与するメリットについて概説します。

放射線被曝の低減

放射線(狭義の電離放射線)を用いる画像検査では、微量ながら放射性被曝が避けられません。放射線を用いた代表的な画像診断として、単純X線写真(レントゲン写真)、X線透視(胃や腸のバリウム検査、血管造影検査など)、CT、核医学検査(シンチグラフィ、PETなど)が挙げられますが、その中でもCTは比較的簡便でありながら人体の構造を非常に詳細に描出できるので、広く日常診療で用いられています。しかし一方で、CTは他の画像診断法と比べ、被曝線量が高くなりがちであり、詳細な撮像をすればするほど被曝量も多くなる傾向にあります。現代では、全国の画像診断による被曝線量を集計し一定の目安を示す診断参考レベル(Diagnostic reference level, DRL)が普及し、CT検査でも過剰な被曝とならない様に管理がされていますが、それでも他の画像検査法と比して被曝量が多くなる傾向は避けられません。PET/CT検査は、その2000年代初頭の登場から急速に広く普及し、現在では主に悪性腫瘍(がん)の診断に非常に重要な役割を担っていますが、PETとCTの二つの放射線被曝を伴う検査を行うため、被曝量の低減には細心の注意が必要です。この点PET/MRI検査では、比較的被曝量の多いCTの代わりに被曝の無いMRIを行う事から、同じ核医学検査でもPET/CTと比べて被曝線量を低く抑えることが出来ます(図1)。このため放射線被曝に対する感受性が高く、高齢者と比べて余命が長く見積られる小児のPET検査を行う場合は、PET/CTよりもPET/MRIが推奨されます。また、健常人を対象とした健康診断(任意検診)を目的とした場合も被曝線量が少ない点は有利となり、検診目的のPET/MRI検査も国内複数個所の施設で行われています。

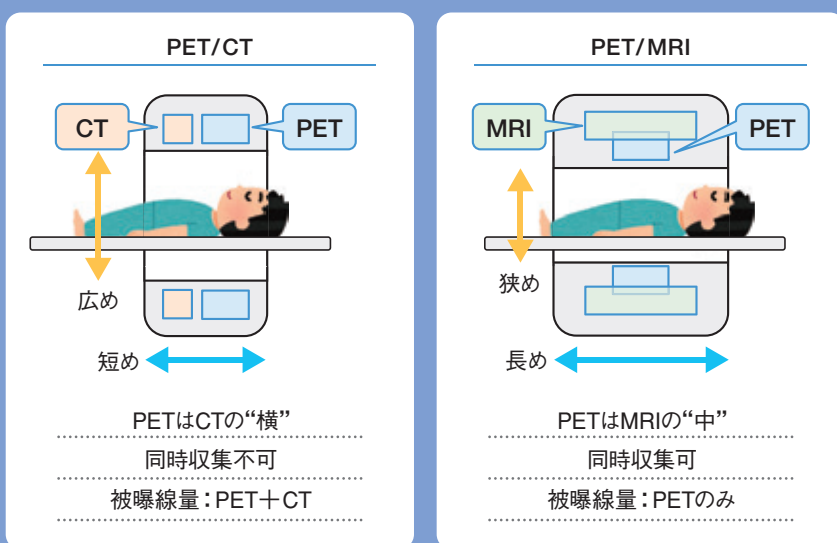


図1. PET/CTとPET/MRIの構造の違い

PET/CT装置はPETの横にCTが設置されているのに対し、PET/MRI装置はMRI装置の中にPETが挿入された形になります。放射性医薬品から発するγ線を用いるPETと、X線を用いるCTは同時には撮像できませんが、PETとMRIは同時に同じ断面を撮像する事が出来ます。被曝線量はCTの分だけPET/MRIよりもPET/CTが高くなります。CT装置は比較的幅が短く、リングの入る部分も広くすることが出来ますが、MRI装置は長く直径が短いので、少し狭い空間に入る必要があります。これはMRI単独の装置で検査をする場合と同様です。

MRIが得意とする臓器の診断に有用

MRIは元々、様々な疾患の精密診断として用いられてきた画像診断法です。得意とする臓器として、脳神経、骨軟部、乳腺、上腹部固形臓器(肝臓、膵臓など)、泌尿器科系臓器(腎、尿路、前立腺など)、婦人科系臓器(子宮、卵巣など)が挙げられ、これらの臓器の精密診断として広く用いられています。CTも詳細な構造を描出する事のできる優れた検査方法ですが、MRIとは撮像原理が異なるため、同じものを見た場合でも見え方が異なります。例えば卵を例にとると、CTは殻と中身を明瞭に区別して描出しますが、黄身と白身の区別が苦手です。一方、MRIは黄身と白身を非常に明瞭に区別して描出できるとともに、水の含有量なども評価できるので、生卵とゆで卵の区別も可能です。MRIをPETと組み合わせることにより、MRIの得意な臓器の悪性腫瘍の診断に威力を発揮します(図2)。従来はPET/CTに加え、別にMRI検査を行っていた場合も、一度のPET/MRI検査で完了する事が出来るとともに、PET/CTにはないPETとMRIを同時撮像出来るメリットを生かし、より詳細な検査を行う事が出来ます。同時撮像によるメリットについては、後の章で解説します。

PETを他の画像検査法と組み合わせる意義

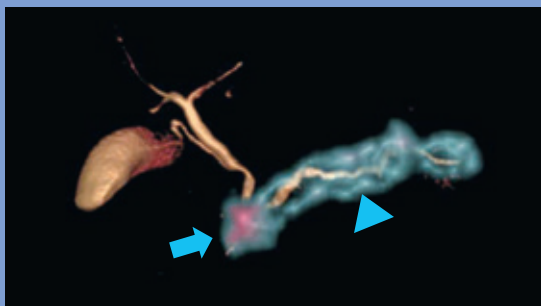
近年では、PETを単独の検査として行う事は稀で、PET/CT装置あるいはPET/MRI装置を用いてCTやMRIと共に撮像する事がほとんどです。これは、PETの画像を作成するためにCTやMRIが必要となる事もありますが、PETをはじめとする核医学検査が、正常臓器や病変の「機能」を見るための手法であり、「形態」を見るための物ではない事が主たる理由です。核医学検査では、放射線を放出する

核種(放射性同位元素)でマーカーを付けた(標識した)様々な医薬品(放射性医薬品)を用いて検査をします。これにより、それぞれの放射性医薬品の特徴に応じた画像を得る事が出来、例えば前出の砂糖(グルコース)に放射性同位元素である ^{18}F を標識したFDGを用いたPET検査では、グルコースを多く利用する臓器や病変に沢山のFDGが集積し放射線を放出するため、体の中のどこでどれだけグルコースを利用しているかを知る事が出来ます。多くの悪性腫瘍(がん)はグルコースを主な栄養源としますので、FDG-PETを用いることにより悪性腫瘍の場所や活動性を評価する事が出来ます。しかしPETはあくまで放射性医薬品の集まり程度を画像化するものであり、正常の構造は描出されません。天気予報で例えると、PETは雨雲レーダーの雨雲の様なもので、これだけだとどこに雨雲が集まっているか分かりません。背景に重ねる地図が必要で、その地図の役割をCTやMRIが担います。雨雲レーダーに地図を重ねて、どこに雨雲が集まっているかを判断する様に、PETにCTやMRIを重ねることにより、どこに医薬品が集まっているか知ることが出来るのです(図3)。

同時撮像による新たな画像診断の幕開け

PET/CT検査は異なる画像診断法を一度に行う事の出来る複合型の画像検査ですが、PETとCTを同時に撮像することは出来ません。これは、いずれも放射線を用いる検査であることからお互いに干渉し、同時に画像を得る事が出来ないのが一つの理由ですが、もう一つの理由として、撮像に要する時間が大きく異なる点が挙げられます。PETをはじめとする核医学検査は、体内に投与された放射性医薬品が発する微量の放射線を検出する必要があるため、撮像に時間がかかります。例えば躯幹部(頭から足の付け根まで)を撮像しようとする時、最新型の装置でも十数分から数十分程度要するのが一般的です。一方、CTはX線を体外から照射し撮像するため、高速撮像が可能となり、躯幹部の撮像には十数秒程度あれば十分となります。つまり、PETにとってCTは速すぎるため、CTの撮像時間では十分なPETの画像が得られない事になります。一方、MRIもPET同様、比較的撮像時間の長い検査方法です。ところが、MRIは放射線を用いない全く別の検査方法ですので、PETとMRIは同時に撮像する事が出来ます。従って、躯幹部を撮像しようとした場合、仮にPETの撮像時間だけMRIを同時に撮像すると、PET/CTもPET/MRIもその所要時間はほとんど変わらない事になります(図4)。このように、PETとMRIを同時撮像出来るPET/MRI装置は、PET/CTと比べて同等のスピードで撮像が出来るとともに、別々に撮像するPET/CTにはない利点があります。

図2. 膵頭部がんの症例



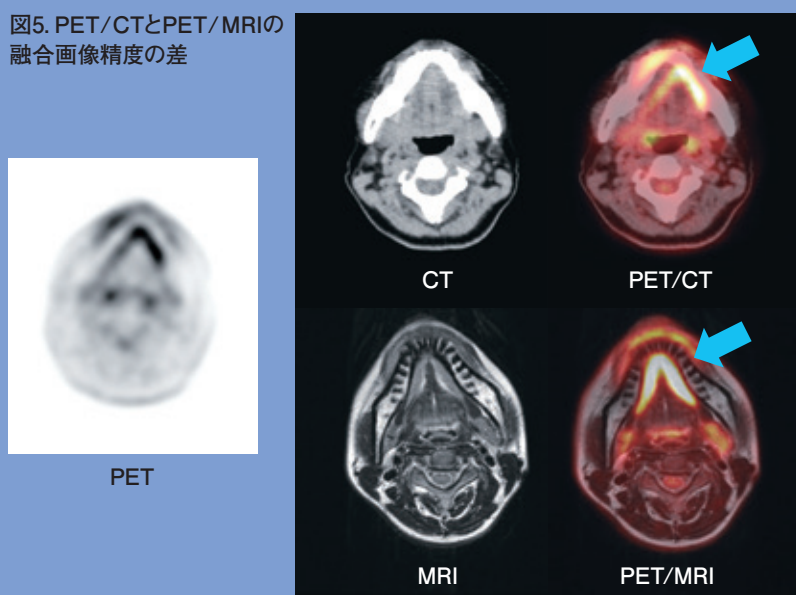
PETとMRI(MRIによる膵胆管像、magnetic resonance cholangiopancreatography MRCP)の三次元融合画像では、膵頭部に高い集積を呈する膵がんがみられるとともに(矢印)、膵体尾部に拡張した主膵管と閉塞性炎症による集積がみられます(矢頭)。このようにPETとMRIの位置ずれのない三次元融合画像を作成できるのも、PET/MRIの特長の一つです。

かになりつつあります。糖尿病の治療薬の一つであるメトホルミン（経口血糖降下薬）を投与されている患者にFDG PET検査を行うと、消化管に強いFDG集積がみられる事は古くから知られていましたが、消化管は動き（蠕動運動）があるためPETとCTの位置を合わせる事が難しく、その集積が消化管の壁なのか内側（内腔）なのか区別することが出来ませんでした。PET/MRIにより正確な消化管の融合画像診断を行う事が出来るため、FDGの集積がMRIで見られる腸管の何処に位置するのが正確に理解可能となったとともに、その集積が腸液中に見られる、つまりFDGが腸管内に排泄されている事がわかる様になりました（図7）。これはメトホルミンの作用機序を理解する上で非常に重要な発見であったと評価されています。

まとめ ～正確で体にやさしい画像診断へ～

PET/MRI検査について概説しました。主にPET/CTと比べた場合の利点は、①放射線被曝量が少ないこと、②MRIにより病変の詳細な評価が出来ること、③病変の場所を正確に知る事が出来ること、が挙げられます。PETで用いる放射性医薬品は日々様々な製剤が開発されており、今回紹介したFDG（グルコース）以外の放射性医薬品も日常診療で利用可能になる日も近いと思われます。MRIと組み合わせたPET/MRI検査は、正確で体にやさしい検査と言えますので、もし検査をする機会がありましたらどうぞ安心してお受け下さい。

図5. PET/CTとPET/MRIの融合画像精度の差



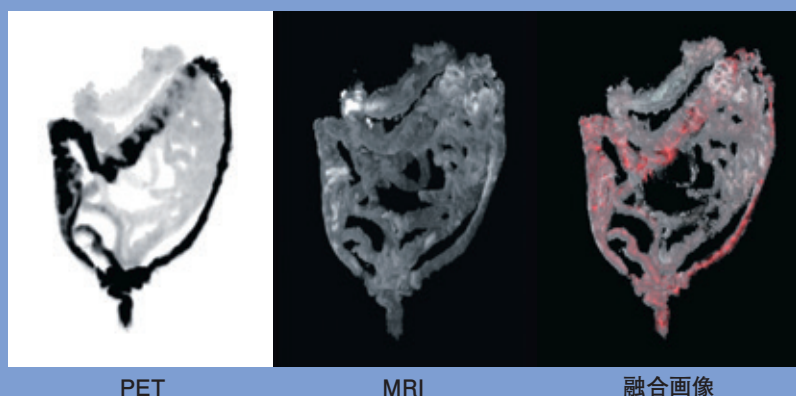
PET/CTはPETとCTを別々に撮像するため、撮像中に患者さんが少しでも動くと、両者の融合画像がずれてしまいます（矢印）。PET/MRIは両者を同時に撮像するため、融合画像の精度が非常に高く、集積部位の診断に役立ちます。

図6. 皮膚のFDG集積を示した三次元PET画像



PET/MRIではPETとMRIを同時収集するため、両者の位置ずれがほとんど無い事を利用し、MRIで皮膚の領域を抽出し、その部分のPETのみを評価する事が出来ます。これにより、皮膚のFDG集積の程度を全身で評価する事が出来ます。頭部では特に鼻翼や眼瞼、眉、頬、顎で集積が高い事が見て取れますが、これは皮膚の皮脂腺の糖代謝を反映していると推察されています（PLoS One. 2021 Mar 26;16(3):e0249304.）。

図7. 経口血糖降下薬（メトホルミン）を内服した患者の腸管のFDG集積



同時収集が出来るPET/MRIは、消化管の様に動きのある臓器でも、正確なPETとMRIの融合画像を用いた診断を行う事が出来ます。PETで見られる消化管の集積をMRIの消化管像に重ねる事により、消化管のどこでFDGが集積しているのかが判断できます。メトホルミンを内服すると回腸や結腸といった消化管に高い集積がみられますが、これは腸管壁への集積ではなく、腸管内腔への集積（排泄）であることが、PET/MRIを用いて示されました（Diabetes Care. 2020 Aug;43(8):1796-1802.）。

世界の街角から

太陽輝くサンディエゴ(米国)

金沢大学医薬保健研究域
田中 利恵 (たなか りえ)

サンディエゴは、アメリカ合衆国カリフォルニア州南端にある、全米で8番目に大きな都市です。全長112キロメートルにおよぶビーチ、フレンドリーな人々、恵まれた気候、スパイシーなメキシコ料理。このサンディエゴの地で、隔年2月に開催される国際光工学会 SPIE Medical imaging 大会に参加するため、いつしか訪問歴8回をカウントしていました。雪国金沢から太陽輝くサンディエゴに通い続けた筆者が、その魅力をご紹介します。



サンディエゴ市内の移動は、トラムやバスなどの公共交通機関が便利です。隣国メキシコには徒歩で行き来できることから移民も多いのですが、治安は良く、皆さんとてもフレンドリーです。カフェでお茶をしていたら、休憩中の地元の警察官と遭遇。快く記念撮影に応じてもらえました。素敵な笑顔です! (写真1)

ベイエリアには、シーポートヴィレッジ、ミッドウエイ博物館、シーワールド・サンディエゴ、コロラド島へのフェリー乗り場など、ショッピング・食事・観光を楽しめるエリアが並びます (写真2)。そして、ダウントウンから少し北上すると、エメラルドグリーンに輝く海が魅力のラ・ホーヤがあります。ラ・ホーヤはスペイン語で「宝石」を意味します。岩場で寝そべる野生のアザラシを、わずか数メートルの距離から見物することができます(写真3)。



写真2. コロラド島から見たベイエリア



サンディエゴ発祥の地 Old Townは、ヨーロッパからのスペインの植民地開拓者によって作られた集落です。現在は、



写真3

1800年代当時の街並みが再現され、雑貨屋・お土産屋・レストラン・カフェなどで賑わっています。ビビットカラーの焼き物を眺めていると、気分は急上昇!! 当時の雰囲気の中で、メキシコ料理&音楽を楽しむことができるイチオシの観光スポットです(写真4)。



写真4

街全体が大きなテーマパークのようなサンディエゴは、足を踏み入れた瞬間からドキドキ、ワクワクの連続です。これからも、サンディエゴの魅力を探り続けたいと思います。

My Hobby

ささやかな楽しみ

茨城県立医療大学
阿部 慎司(あべ しんじ)

私自身、特に趣味なるものは無く、あるのはささやかな楽しみ程度です。私の出身地では光害なるものもさほどないリンゴ畑と水田が広がっている田舎だったため、星々の輝きがよく見えていました。夜空の星々を眺めるのが好きでしたから、実際にアンドロメダ銀河を双眼鏡で見て感激したことを覚えています。

天体に少し興味があったこともあり、医療技術短大時代の星の好きな友人から借りた天文雑誌にシリーズで掲載されていた位置天文学を読んだのですが、当然ですが全く理解できる訳がありません。そのとき、ふと古本屋で見つけた物理数学を手に取り読み始めたのが物理学を勉強するきっかけで、紆余曲折を経て今に至っています。

20代の頃は、毎年お盆休みを利用して同郷の友人と夏山登山をしていました。千枚岳、悪沢岳の縦走から始まり(写真1)、20代後半の槍ヶ岳、笠ヶ岳の縦走など、体力的にはきつかった分よい思い出です。特に槍ヶ岳の頂上はなんとも言えない眺めで、下山して新穂高温泉郷での温泉泊は至極のひと時でした。私の最後の登山は富士山です。3000メートル級の山に何回か登っていましたが、まさかとは思いましたが、途中で高山病?になりあえなく途中で下山となってしまったのが、私の登山の最後です。その後は子育てに追われる毎日で、この類のささやかな楽しみとは無縁の毎日でした。



写真1. 千枚岳

50代の後半になり子育てから多少解放されるようになってからは、家内とお蕎麦の食べ歩きが数少ない楽しみです。もともと、大晦日に家族でそばを打って年越しそばを食べるのが恒例になっていたこともあります。私の住まいである茨城でお蕎麦と言えば、県のブランド「常陸秋そば」が有名ですが、秋になるとこれにちなんだ「茨城のそばまつり」が県内各地で開催されます。県北地域で行われる「常陸秋そばスタンプラリー」がきっかけで、常陸秋そばの食べ歩きをするようになりました。常陸秋そばは大変おいしいお蕎麦ですが、地域独特の“つけけんちんそば”も美味です(写真2)。

北茨城にあるそば道場で食べたお蕎麦(写真3)が大変おいしかったこともあり、それ以降この楽しみが続いています。ほとんどは県央県北のお蕎麦屋さんですが、ときどき県南や県外のお蕎麦を食べに行くこともあります。ただし、ここ数年はコロナ渦ということもあり、以前のように食べ歩きが出来ていませんが、早く以前のようにしてほしいと願うばかりです。ちなみに、県北地域の商品等が当たるスタンプラリーでは、スタンプを集めて何回か応募はしたのですが、くじ運が無いようで、今年こそはと思っています。

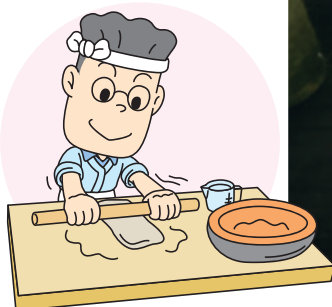
すでに還暦も過ぎ、退職後のささやかな楽しみですが、お蕎麦の食べ歩きの他に、星々が見える露天風呂巡りでもしようかなと思っています。

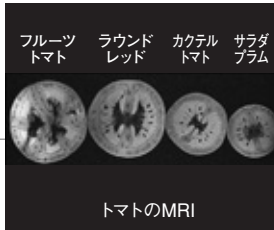


写真2. つけけんちんそば



写真3. そば道場





編集後記

PET/MRIは時間的・空間的分機能が高く診断能が優れており、CTに替わるMRIの有用性が注目されています。10月20-27日、サンアントニオの米国放射線腫瘍学会(ASTRO)に参加いたしました。機器展示会場でも放射線治療分野にもCTに替わって、大々的にMRIが導入されています。正直、価格がかなり高い欠点がありますが…。次回のASTROはサンディエゴで開催されます。暖かく自然も豊かで食べ物もおいしい大好きな街です。私は30年前に3年弱シカゴに留学しました。RSNAが毎年開催される、とてもいいところですが、冬の寒さには辟易し、暖かいテキサス・カリフォルニアはいつも憧れでした。来年もASTRO参加予定です。

日本人は年を取ると“そば打ち”に興味を持つ方が多いと言われてます。私も定年後には“そば打ち”頑張ってみようと思っておりましたが、広い場所が必要で、周りにそば粉が飛び散るなどの理由で妻との戦いになっています。

ご意見、お問い合わせなどがございましたらJRC事務局 (office@j-rc.org) までメールでお寄せください。 JRC広報委員



監修 公益社団法人 日本医学放射線学会
<http://www.radiology.or.jp/public.html>
 発行 一般社団法人 日本ラジオロジー協会
 〒101-0052 東京都千代田区神田小川町3-8
 神田駿河台ビル7F
 TEL 03-3518-6111/FAX 03-3518-6139
<http://www.j-rc.org/>
 発行日 2023年2月25日 第21巻第1号 通巻40号