

PET/MR 検査の初期経験と今後の展望

福島県立医科大学先端臨床研究センター

久保 均 先生

画像診断の有用性はいまでもなく、現在の医療においては欠くことのできない診断ツールとなっている。また、X線CT, MR, SPECT, PETあるいは超音波等のさまざまなモダリティが臨床で特徴に応じて使い分けられているとともに、それらを融合したPET/CT, SPECT/CT等の装置も開発され使用されている。これらは、生体内の分子プロセスを可視化する(分子イメージングと呼ばれ、生体の機能をイメージングする)ことができる核医学断層装置(PET, SPECT)と、解剖学的な構造を可視化して形態画像を得ることができるX線CT装置を組み合わせている。これにより、PETやSPECT単独装置では困難であった大きさ、位置、性状等の形態情報を得ることができるようになるとともに、CT画像とPET画像やSPECT画像を融合して正確な位置情報を提供する事が可能になった。(Figure 1) また、CT画像をPET画像の定量性を向上させるために必要な吸収補正に用いる事で、密封線源を用いたトラスミッションスキャンを用いる手法に比して短時間で吸収補正用データを得ることができるようになったことも重要なメリットである。

近年、MRとPETを融合させたPET/MRI装置の開発が進み、本邦で初めて本学に導入された。MRは生体内の水分子の振る舞いを画像化するため、CTに比してよりコントラスト分解能が良くCTのようなX線被曝なく形態情報を得ることができるとともに、CTとは異なるdiffusion weighted imaging (DWI), Perfusion weighted imaging (PWI), functional MRI (fMRI)およびmagnetic resonance spectroscopy (MRS)等により生体機能を画像化することが可能となる。このようにMRにPETが融合することにより、「MRを用いた形態画像」+「MRを用いた機能画像」+「PETを用いた機能画像」を同じ寝台で得ることが可能となることは、新たなイメージングバイオマーカーの創出が可能になると考えられ、臨床および研究に

において大きなインパクトを与える可能性を秘めている。

PET/MR装置は、その形態から3種類に分けられる。(Figure 2) 市販されている臨床機は図2におけるside-by-sideタイプとintegrated PET/MRIタイプがある。Side-by-side方式ではPETの検出器にPMTを用いた従来法を使用できる利点があるが、MRの磁場からPET検出器を離して設置する必要があるために広大な部屋が必要な欠点がある。Integrated PET/MRIタイプでは、PETとMRの測定を同時に行えるという今までにない利点を備えているが、そのためにMRの磁場内でも使用できる新たなPET検出器の開発が必要であった。現在臨床機として市販されている装置では、avalanche photo diodeを用いたものが実用化されており、LSOクリスタルと組み合わせて使用されている。また、これによる小型化も可能であり、MRのガントリー内にPET検出器を全周性に納めることに成功している。PETの性能は様々な構成部品の性能や幾何学的状況に影響を受けるが、PET/MRのPET性能を同一メーカーのPET/CTのPET性能と比較しても遜色ない性能が確認されている。

PET測定における定量性の向上において、吸収補正は非常に重要な技術である。PET/CTの場合にはX線の吸収マップであるX線CTの画像を用いて511keVの吸収マップ(μ -map)を作成するが、PET/MRの場合は放射線を一切用いないのでそのようなマップ情報を直接得ることができない。そこで、PET/MRではセグメント法を用い、MR画像を用いて μ -mapを作成している。具体的には、DIXON法を用いてMR撮像する事によりin phase, opposed phaseの画像を作成し、これらからwater 画像およびfat画像を計算する。これら4つの画像を用いて、肺、空気、軟部組織および脂肪にセグメントする方法を用いている。このため、CTを用いる手法と決

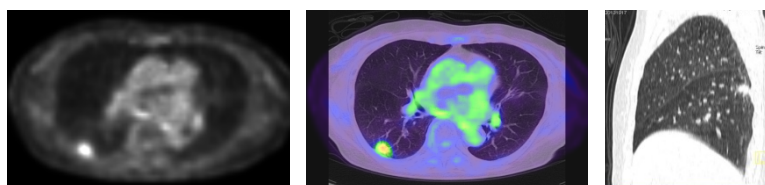


Figure 1 Example images of PET/CT examination. PET image (left), fusion image (middle) and CT image (right)

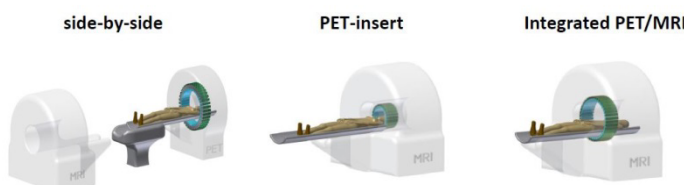


Figure 2 Variation of the PET/MR system under development.

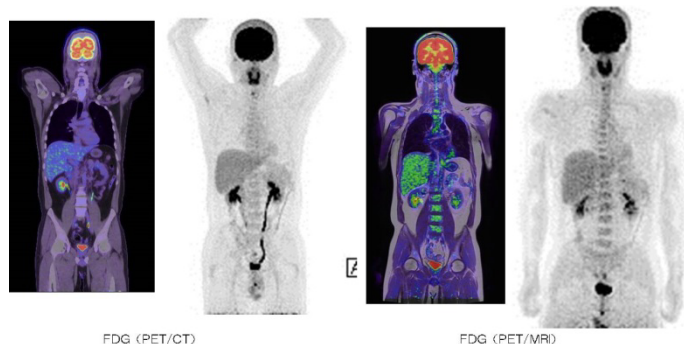


Figure 3 Fusion (color) and MIP images (B&W) measured by PET/CT equipment (left) and PET/MR equipment (right) in same healthy volunteer.

定的に異なるのが μ -mapにおける骨情報の欠落である。 γ 線の吸収に大きな影響を与える骨情報の欠落は、吸収補正結果に大きな影響を与えることが予想される。同一被験者をPET/CTおよびPET/MRで測定した画像をfigure 3に示す。このように同一被験者で両装置による測定を実施された結果を用いて正常臓器のSUV値を測定して比較すると、PET/MRで測定した方がPET/CTで測定したものより低くなる傾向が見られた。特に脳、心臓においてその傾向が顕著であった。しかし、PET/MRとPET/CTで測定されたSUV値の相関を評価すると0.6から0.9程度の相関係数が得られるため、判断基準を少し変更すればPET/CTで用いていた従来法と同様の考え方でPET/MRのSUV値を扱うことが可能と考えられた。

福島県立医科大学では、PET/MRの導入以降徐々にではあるが診療および研究において経験を積み重ねてきた。その中で見えてきた課題と展望について言及する。平成25年4月にPET/MRの保険点数が決まり薬価収載がなされたが、PET/CTと全く同一の点数であり、何らのインセンティブを得ることができなかった。加えて、PET/CTでは保険適応である肺癌、肝胆膵癌あるいは、てんかん、心疾患等が保険適応から外れ、非常に狭い範囲における保険適応となってしまった、特に、脳あるいは心臓などのMRが得意とする領域における保険適応除外は臨床家としては非常に残念であった。このような状況であるために、現状では一部の腫瘍疾患しか保険診療ができない制限が存在している。このような状況ではあるが、現場としてはPET/MRを用いた診療と研究を行っていく必要がある。今後診療と研究を行っていく際の展望として、いくつかのアイデアを記したい。PET/CTと同様に全身検索を目的とする場合、MRの特徴を活かそうとするとMRの撮像時間が律速となりPET/CTほどのスループットを達成するのは困難である。しかし、プロトコルの最適化・最低限のMR撮像に限定する等の努力により、目的を限

ればPET/CTと同様のスループットを獲得する事は達成できそうである。これは、PET/CTに比してRTトレーサー以外に被験者への被曝を生じさせない、というメリットが生じることにつながる。もう一方の方向性は、PET/MRの特徴であるPETとMRの同時計測、MRを用いた形態画像と機能画像の取得とPET画像との融合による新たなイメージングバイオマーカーの創出と、それによる診断能の向上、治療評価法の確立である。PET/MRを用いた機能情報の描出は、まさしく分子イメージングそのものであるため、従来にない強力なモダリティとなる可能性を秘めていると考えている。今後、PET/MRが臨床現場で確固たる地位を占めることができるかどうかの鍵は、このようなイメージングバイオマーカーを発見できるかどうかによると思われる。本邦1号機を扱うものとして、その責任の重大性を感じずにはおれない。また、これらに付随した周辺環境の整備も必要である。現在の画像診断は、単なる画像の表示ではなく様々な解析処理を行い、複雑な画像処理を付した上で高機能な画像表示技術を用いた表示が行われている。PET/MRの画像は今までにない情報量が多い上、様々な機能を描出できるためにその表示が今までの技術では困難なことが多い。そのために、PET/MRそのものの測定技術の研究開発を行うと共に、得られた結果を解析・表示する技術の研究開発も同時に進行する必要があると考えられる。このような研究開発は、本邦内に限定することなく世界各国のPET/MR研究者と一緒に行う必要性を痛感している。

以上、本学に導入された本邦1号機であるPET/MRについて、その初期使用経験と今後の展望を述べた。今後の診療や研究開発における一助になれば幸いである。最後に、本発表を行うにあたりご協力いただいた本学先端臨床研究センター、シーメンス・ジャパンの関係各位に感謝申し上げます。