

DB を用いた確定診断情報の蓄積 および検索による PET 読影支援 手法

PET Interpretation Support Method by
Store and Retrieval of Confirmed Diagnosis
Data Using DB

青木 裕紀[▼] 植田 賢[◆] 富井 尚志[▲]

Hironori AOKI Masaru UEDA Takashi TOMII

近年注目されているがん診断のための撮影手法である PET は、細胞の糖代謝という体内の機能を撮影するため、形態の変化からだけでは判定が困難ながんの進行度や、まだ形態の変化がおきていないような初期の小さながんの発見に有効であると期待されている。PET 画像の読影には固有の医学的知識や経験が不可欠であるが、現在それらの知識は明確には蓄積されていない。そこで我々は、読影時に生じるデータをモデル化し、統一的な医学知識をベースに全情報を蓄積、医師全体で共有できる DB モデルを提案してきた。本稿では、読影時の情報に加え、読影後の確定診断の情報も読影情報に関連付けて DB に蓄積するためのモデル化を行い、読影時に検索によって確定診断情報を利用することで、確定診断情報からわかる PET 診断における偽陽性例や典型的な異常例、特定部位の病症例といった検索を可能とし、PET 読影の支援とする手法を提案する。また、そのための PET 画像 DB の登録・検索インタフェースを実装し、検索の機能的考察を行い、本手法の有効性の評価を行った。

In recent years, diagnosis by whole-body PET images are considered as an effective method of finding cancer. We have proposed a modeling method to share these proper knowledge with doctors by using a database. In this paper, we propose PET interpretation support method by modeling DB to store confirmed diagnosis data and retrieval of confirmed diagnosis information at the PET interpretation. Firstly we considered required function of a system for integrating PET diagnosis information and confirmed diagnosis information. As for the result, we implemented prototype of the system, and also evaluated the effectiveness of it.

1. はじめに

近年、陽電子放射断層撮影 (Positron Emission Tomography : PET) による画像診断が、癌の有効な診断方法の一つとして注目されている [1]。PET には、固有の特別な性質

があるため、PET 画像の診断においては、PET に関して専門的な知識を有し、またある程度の経験を積んだ PET 画像専門の読影医が行う必要がある。ところが、読影時にどの領域に注目したかといった情報は読影をした医師にしか分からず、このような PET 固有の専門的な知識の十分な共有がなされていない。また、実際の PET 画像診断においては、読影する医師と確定診断を行う医師が存在するが、読影医への確定診断情報の伝達が行われていないのが現状である。

これまでに我々は、「データベース (DB) による画像所見の共有」と「検索による画像所見の利用」という観点からコンピュータによる診断支援の方法を提案してきた [2] [3]。本稿では、これに加えて、PET 診断後の確定診断の共有や検索を可能にすることで、確定診断結果を読影医にフィードバックするための手法を提案する。

実際の医療現場では、PET 画像で異常を疑う場合であっても、確定診断の結果、実際に癌でないというようなことも多い。本提案手法により、過去の診断情報において、偽陽性や偽陰性の確認といったことが可能となる。また、過去の診断情報から、異常な症例の SUV_{max} (最大 SUV) のみならず正常な症例の SUV_{max} も蓄積されることにより、部位毎に正常・異常例の SUV_{max} 範囲の確認といったことが実現可能となる。これらのことは、実際に現場の医師からの望む声も上がっている問題であり、読影の質の向上という観点でも重要である。

そこで本稿では、PET 読影の問題点について明らかにし、その上で、上記のような確定診断の共有と検索を実現するために、統一的な医学知識をベースに全情報を蓄積できる DB モデルを提案する。まず、実際の医師の所見レポートを参考に確定診断のモデル化を行い、それを元に DB の設計・実装を行う。そして、PET 診断 DB で確定診断結果を管理するために必要な機能について考察し、これを実現するための登録・検索インタフェースの設計・実装を行い、その機能についての有効性の評価を行う。

2. 全身 PET 画像の読影

2.1 FDG-PET

PET は、体の糖代謝という「機能」を撮影する医療画像モダリティの一種である。そのために、臓器の厳密な同定をするのが難しいことや、異常集積以外にも、生理的な集積や炎症による集積が発生するといった様々な特徴がある。読影の際には、生理的集積と異常集積の鑑別のために、その集積の強さを評価する必要がある。そのための値として、Standardized Uptake Value (SUV) が用いられる [4]。SUV は、薬剤の集積度を表すものであり、同じ患者の同じ部位であっても、検査毎に異なる。また、生理的集積の強さが臓器毎に異なるため、臓器毎に取り得る SUV の範囲も異なる [5]。そのため、SUV がある値以上であれば必ず異常であるといった、一意な閾値を決めることは難しい。一方、PET 診断の自動化を実現した研究 [6] もあり、今後ますます PET 診断事例の増加が見込まれる。

2.2 PET 診断と確定診断までのプロセス

PET 診断は大きく (1) 画像撮影、(2) 撮影した画像の読影、および、(3) PET 以外のモダリティによる検査や診断、の 3 つのプロセスに分けることができる (図 1)。本研究では、特に (3) の中でも確定診断について注目し、考察を行った。

現在の医療では、高度に専門化した医師が各自の専門分野に特化した医療業務を行うことが多い。例えば PET では前述のような理由により、読影を専門とする医師が多量の PET 画

▼ 学生会員 横浜国立大学大学院環境情報学府 情報メディア環境学専攻 d06hc001@ynu.ac.jp

◆ 学生会員 横浜国立大学大学院環境情報学府 情報メディア環境学専攻 d05hc008@ynu.ac.jp

▲ 正会員 横浜国立大学大学院環境情報研究院 tommy@ynu.ac.jp

像データから異常・正常の鑑別を行い、レポートの形式で他の医師に結果伝達を行っている。PET 読影によるガンの有無の判定の後、生検や他のモダリティでの追加の検査等を行う場合がある。これにより、病症の正体を得る。これを確定診断と呼ぶ。集積が起きている臓器によっては、PET で陰性だった検査でも実際には異常が存在する場合 (PET 偽陰性) や、その逆の場合 (PET 偽陽性) も存在する。

一般に、確定診断を行う医師は PET の読影医とは別の医師であることが多い。そのため、PET 読影の情報とは直接関連を持たず、独立に記述されるものになると考えられる。そのため、読影医は過去に行った読影に対する確定診断結果の一つ一つを知ることが困難である。そこで、確定診断の結果を読影医に知らせる部分でサポートすることにより、読影医は自らの読影結果が正しかったのかどうかを知ることができる。このような読影医への確定診断結果のフィードバックは、読影の質の向上に役立つといわれている [7]。

3. PET 画像 DB を用いた読影支援手法

我々は今までに、読影時に生じる医師の経験的知識を明示的なデータとして蓄積できれば、読影の支援になると考えた。また、読影医が過去の所見を参照可能とすることは、所見間の矛盾を減少させ、自己学習の機会を与えることができるという点で、大きなメリットを有する。そのために、医学知識と画像データを、読影時に発生する医師の知識と結びつけて蓄積し、様々な検索により読影支援を行うための PET 診断 DB を提案してきた [2][3]。

本研究では、それに加え、2.2 節で説明した確定診断情報を DB に蓄積し、共有・検索による読影支援を目指す。そこで本章では、確定診断と PET 所見の関連をモデル化し、そのモデルに基づく DB の設計と実装を行う。そしてその DB を基盤として確定診断の結果を PET の読影医にフィードバックするシステムを設計する。

3.1 確定診断と PET 所見の関連のモデル化

確定診断と読影所見の関連を検索するためには、複数の医師が同じ部位に対して下した判断を区別して蓄積できる必要がある。また、実際の医師の所見レポートに記述された事実をそのまま蓄積できることが望ましい。そこで我々は、図 2 に示すように、所見と確定診断を関連付けて表現するモデルを導入する。図 2 では、複数の医師が読影時に注目した医学的に普遍的な事実を一つのエンティティとして抽出し、エンティティ間の関連を表現している。

このモデルに基づいて、DB の概念スキーマを設計し、論理スキーマを実装した (図 3)。このスキーマの特徴は、一つの部位に対して複数の所見と確定診断が登録できるようになっていることである。図 3 の枠で囲まれた部分が、モデル化を行った部分に対応している。今までのモデル [2] では読影時に生じる情報を Finding テーブルに格納していたが、今回はそれと関連付けて確定診断情報を含む最終的な診断情報を FinalDiagnosis テーブルに格納することとした。

3.2 確定診断の登録による蓄積と共有

確定診断の登録を促し、データ共有による効果を最大限に得る為には、確定診断を下す医師が実際の医療業務の中で行う手順を崩すことなく情報蓄積を行なえるようなシステムが求められる。そこで本節では、確定診断医が読影済所見へ確定診断を登録するためのインタフェースの設計を行う。DB への登録の際には、(1) 読影済みの患者の所見レポートを取得する、(2) 読影により各部位に下された診断に対して確定

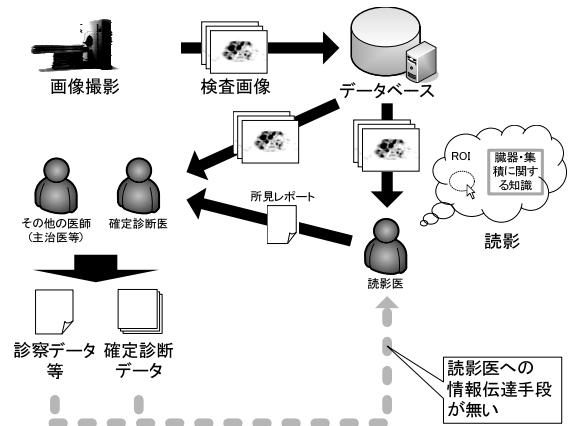


図 1 PET 診断プロセス

Fig.1 Process of PET Diagnosis

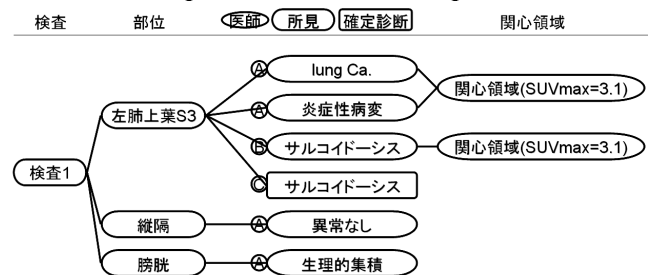


図 2 確定診断と所見のモデル化の例

Fig.2 Modeling of Confirmed Diagnosis and Finding

診断を登録する、それに加えて、(3)他のモダリティによる検査の結果、読影時に言及されなかった部位に対して確定診断情報が追加される場合もある、という流れとなっている。また、確定診断は特定の医師 1 人が行うというわけではないため、すでに確定診断が登録された部位が一目でわかることも必要である。そのため、DB より取得できる所見レポートの情報を医師に提示する部分である表示方法についても工夫が必要であると考え、実際の医師が使用している所見レポートを参考にして、同じ形式で表示することとする。PET 診断 DB は医師の所見レポートをモデル化しているため、そこから実際の所見レポート形式に再現することは容易である。

3.3 確定診断の検索による読影支援

確定診断情報を蓄積することにより可能となる有用な情報をプリミティブに分割し、それぞれに対応した検索条件を設定して取得し、読影医に提示することによる読影支援の手法を提案する。有用な情報の検索については以下のようなものが考えられる。

1) 指定した部位毎の検索

PET 診断 DB では、読影が行われた各部位に対して確定診断を関連付けて登録しているため、特定の部位をキーとした検索を行うことが可能であり、それにより過去に行われた検査画像とそれに付随する情報を取得することが可能である。これにより、症状の確定した同部位の検査画像と現在読影中の画像とを比較することが可能である。また、本 DB ではオントロジー [8] を用いて部位間の関連が記述されているため、検索を行いたい部位に関連のある全ての部位 (下位概念) に関する情報を取得することも可能である。

2) 偽陽性・偽陰性と正常・異常例の分類

読影では陽性と判断されたが確定診断では陰性と診断された症例 (偽陽性) やその逆 (偽陰性) の症例の画像を分類することにより、どのような集積が偽陰・偽陽性と診断されや

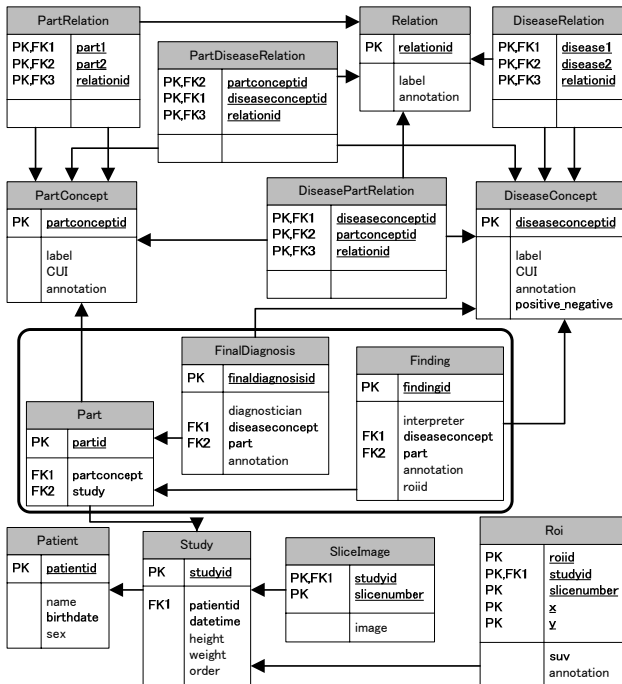


図3 PET 画像 DB 論理スキーマ

Fig. 3 logical schema of the PET Image DB

すいのか等を知ることができ、有用であると考え。また、多くの症例の情報を蓄積していくことにより、正常集積の SUV_{MAX} 範囲と異常集積の SUV_{MAX} 範囲を部位ごとに提示することが可能となる。これらと、読影中の画像の注目した部位の SUV_{MAX} との比較は、診断を下す際の指標の一つとなりえる。

3) 現在読影中の画像に設定された ROI をキーとした検索
読影時に注目している領域 (Region of Interest: ROI) がどの部位であるか同定することが困難な場合も起こりうるため、現在読影中の画像に設定された ROI から取得できる SUV_{MAX} 値、座標値といったものを利用して検索を行えることも必要であると考え。現在のモデルでは、DB にスライス画像の各画素に SUV 値と座標値が蓄積されているので、このような検索が可能である。

4. PET 診断 DB を用いた登録・検索インターフェースの実装

3 章の設計に基づき、確定診断登録のためのインターフェースを実装した。なお DBMS には Microsoft 社の SQL Server 2005 を用いた。実装には開発言語として C# を利用した。

4.1 参照・登録のためのインターフェースの実装

今回作成したインターフェースでは、患者の所見レポートの取得、取得した所見のレポート形式での表示、確定診断の登録の機能を提供する。実装したインターフェースでは、SQL による検索と登録、その結果の表示を支援する。上記の機能を利用するにあたって、SQL を使わずに、検索条件を入力したり、リストから選択したりすることで、DB への登録や検索を行う機能を提供する。これによって、SQL についての知識がないユーザや、PET 診断 DB のスキーマについて知らないユーザも簡単にクエリを実行することができる。

4.2 検索のためのインターフェースの実装

PET 診断 DB を利用して、コンソールでの読影時に医師に読影状況に応じた検索結果を提示するインターフェースの実装を行った (図 4)。DB に蓄積されている情報を、検査画像に設

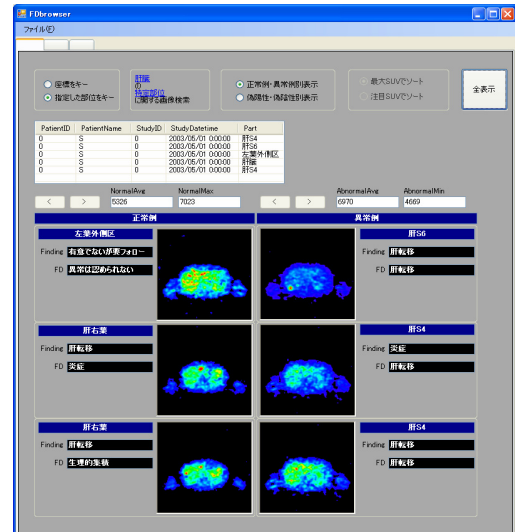


図4 検索インターフェース

Fig. 4 Retrieval Interface

定された ROI から取得できる SUV_{MAX} の値やその座標、臓器概念、患者 ID といったプリミティブな情報に分割し、それらを SQL の検索文として設定し、3 章の設計方針に基づいた検索機能と、検索により取得した情報から ROI の設定された画像を表示する機能を提供する。取得してくる画像はすべて確定診断が登録されたもの限定している。

5. 読影支援のための評価

PET 診断データベースに実際に評価用の確定診断のデータを登録し、実装したインターフェースを用いて検索実験を行い、有効性についての評価を行った。実験に用いたデータは、文献 [2] で作成した PET 読影模擬データである。

5.1 DB に関する評価

今回確定診断を蓄積できるようにモデル化を行い、現在行われている作業手順等を大きく変えることなく、今まで利用されていなかった情報の蓄積が可能となった。そして蓄積の際に読影情報と関連付けることにより、蓄積されたデータを利用して読影医にとって有効な様々な今までになかった検索が可能となった。

5.2 確定診断の登録に関する機能的評価

今回実装したインターフェースでは、実際の医師が使用しているレポート形式で表示することにより、DB に登録されている情報を、より医師が慣れた視覚表示で提示することができた。電子カルテ化が進んでいるとはいえ、依然として手書きの所見レポートを用いている病院は多いため、この表示形式を用いることにより、導入の際の抵抗を軽減できたと考える。

登録部分に関しては、確定診断とは手術結果や他のモダリティでの検査等、用いられる方法は様々であり、一般にどの医療機関にも確定診断を下す特定の医師がいるというわけではない。実装したインターフェースではその点を考慮し、DB にアクセスできる環境からならば、異なる場所の複数の医師が登録を行うことも可能であり、他の医師が確定診断の登録を行った部位に関してはレポート部にも反映される。そのため、確定診断医のみならず読影医が自分の読影の正否結果を知るために用いることも可能であり、複数人による DB 情報の共有が実現できたといえる。

5.3 確定診断の検索に関する機能的評価

確定診断情報を登録したデータベースに対して、読影の支

援に有効と考えられる検索の例として次のものを行った。検索結果は画像と画像に付随した情報として表示される。

〈Query1〉読影時に設定した ROI 中の SUV_{MAX} の座標周辺で過去に見られた確定診断の付いた所見画像

この検索では、医師が設定した ROI 中の SUV_{MAX} の値と座標を取得し、その座標を中心とした球形範囲内で過去に確定診断が登録された画像を取得することができる。この検索により、注目している座標周辺で注意すべき所見のスライス画像を知ることができる。

〈Query2〉肝臓に関する確定診断付の所見画像

実際に医師が診断を行う際には、「肝臓」といったような記述ではなく、「肝 S6」や「左葉外側区」というように、より詳細に部位の記述が行われる場合は多いが、検索を行う際には、より広い概念をキーとした検索が必要な場合もあると考えられる。PET 診断 DB では知識層で医学的概念間の関連を管理しているため、「肝臓」に関する全ての所見画像を取得するように検索を行うと、「肝臓」の下位概念である「肝 S6」や「左葉外側区」といったもの全てに関する所見画像を取得し、表示することも可能である。

〈Query3〉偽陽性・偽陰性の所見画像

Query1, Query2 の検索によって取得してきた所見画像を偽陽・偽陰性に絞り込んで分類することができ、どのようなタイプの集積が偽陽・偽陰性と判定されやすいか調査や研究を行う際に利用することが可能であると考えられる。また、読影時に参照することによっても、読影中の画像との比較・検討が可能とし、注意を喚起することが出来ると考える。

〈Query4〉部位毎の集積の正常・異常例の SUV_{MAX} 範囲取得

Query1, Query2 の検索において、取得した所見画像を見やすいように確定診断で正常と判断されたもの、異常と判断されたものを分けて表示することが可能である。また、Query2 に関しては、Query4 の分類に際して、それぞれの所見画像の SUV_{MAX} の値を取得することで、 SUV_{MAX} の範囲を知ることが可能となる。これにより、正常と確定診断で判断された症例の SUV_{MAX} 最大値、異常と判断された症例の SUV_{MAX} 最小値、またそれぞれの SUV_{MAX} 平均値を表示可能となり、部位ごとの正常と異常の範囲・境界といったものを知ることが可能となる。これをもって閾値とはできないが、読影の判断を行う際の指標の一つとなりえると考えられる。

5.4 医師による評価

現時点では、医師による詳細な評価は得られていないが、PET 読影を専門とする医師らと意見交換を行った際に以下のようなコメントがあった。(1)このような、既に存在するレポートの SUV などの情報を参照することによって、FDG の異常集積と正常を判別する際に診断の精度が上がる可能性がある。(2)データベースに登録する手間がネックである。(3)一度入力をすれば簡単に参照できるという点は良いと思う。(4)より実用的にするための工夫として、小脳の SUV を基準とする研究を参考にすることや、異常部位を目立たせて表示するなどすると良いと思う。

6. おわりに

本稿では、PET 診断 DB を用いた確定診断情報の蓄積・検索による診断支援を実現するために DB の設計・実装、および登録・検索インタフェースを設計・実装した。確定診断データの登録から利用までの、PET 画像 DB に対する一連の操作をユーザへ提供することが可能となった。これらによって、PET 画像 DB を用いて、読影医へ読影支援を提供することができた。

今後の課題としては、今回実装した検索の他に確定診断を用いた有用な支援方法を考える必要がある。また、今回の研究では医師に対して画像を表示することが最も有用な支援になるという設計方針の元に実装を行ったが、実際に使用する場合にそれだけで十分であるかどうかの評価がまだ不十分であるため、医師による評価実験が必要であると考えられる。

【謝辞】

本研究を行うにあたり、横浜市立大学医学部放射線医学教室の井上登美夫教授、鈴木昌子医師、他多くの方々のご協力を得た。ここに深く感謝の意を表す。本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金(課題番号 17700097)の支援による。

【文献】

- [1] 社団法人日本アイソトープ協会 HP, <http://www.jrias.or.jp/index.cfm/6,0,125,195.html>
- [2] 石江哲也, 砂子一徳, 富井尚志, “関心領域情報付き画像所見を蓄積する WB-PET DB の構築と検索による診断支援,” 情報処理学会論文データベース, Vol46, No.SIG8(TOD26), pp1-13, June 2005
- [3] 砂子一徳, 植田賢, 富井尚志, “PET 診断プロセスのモデル化による医師間の読影情報共有システムの構築,” 日本データベース学会 DBSJ letters, Vol. 5, No. 1, 2006
- [4] P.D. Shreve, Y. Anzai, R.L. Wahl, “Pitfalls in oncologic and benign variants”, Radiographics, vol. 19, pp. 61-77, 1999
- [5] Akiko Suzuki, Tsuyoshi Kawano, Nobukazu Takahashi, Jin Lee, Yoshihiro Nakagami, Etsuko Miyagi, Fumiki Hirahara, Shinji Togo, Hiroshi Shimada, Tomio Inoue, “Value of 18F-FDG PET in the detection of peritoneal carcinomatosis”, European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, Vol.31, No.10, pp.1413-1420, 2004
- [6] 有澤博, “医師の手法を模倣した PET 画像自動診断システムの構築”, 信学技報 DE2005-18, PRMU2005-39, pp.29-34, 電子情報通信学会, 2005.6
- [7] 千田道雄, 宇野公一, “～予防医学の時代における核医学診療～ PET がん検診の光と影”, 日本核医学会機関紙, vol.41, no.3, pp.229-234, 2004.9
- [8] Unified Medical Language System (UMLS), <http://www.nlm.nih.gov/research/umls/>

青木 裕紀 Hironori AOKI

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程前期在学中. 2006 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業. PET 画像データベースシステムの研究・開発に従事. 日本データベース学会学生会員.

植田 賢 Masaru UEDA

横浜国立大学大学院環境情報学府博士課程前期在学中. 2005 横浜国立大学工学部電子情報工学科卒業. PET 画像データベースシステムの研究・開発に従事. 日本データベース学会学生会員.

富井 尚志 Takashi TOMII

横浜国立大学大学院環境情報研究院助教授. 1999 横浜国立大学大学院工学研究科博士課程後期修了. 博士(工学). マルチメディアデータベース, 時空間データベースの研究に従事. 情報処理学会, 電子情報通信学会, 映像情報メディア学会, 日本データベース学会正会員