

<特集「放射線と健康」>

米国発、医用画像の過剰使用問題 (overutilization) は 我が国へも波及するのか？

山 田 恵*

京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学

Overutilization of Medical Imaging Will This Became an Issue in Japan as Well?

Kei Yamada

Department of Radiology, Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

抄 録

Overutilization (過剰使用)はこの数年、米国医療で問題となっている出来事である。その背景因子は急増する①画像領域の医療費、及び②被曝、の二者である。米国では、このような状況に対して医師側からの能動的な検査件数の抑制計画がなされている。では果たして我が国でも同様のことが問題となるのだろうか？本稿においては最初に米国の放射線科医が現段階でどのような方策を打ち出しているかを解説する。その後、日米で医療を取り巻く社会状況の差異に関して考察した上で我が国におけるシステムの運用方法に関して言及する。

キーワード：過剰使用、医療被曝、画像診断、放射線科、施設基準。

Abstract

Overutilization of the medical imaging is an emerging problem in the United States (US). This became a central issue when healthcare reform has become a realistic plan to be carried out. In this situation, the cost on imaging studies will be no longer negligible. Various methods that were proposed by the US radiologists will be introduced within this article. In addition to the cost issue, there is another unique matter for Japanese medical system, and we will thus discuss about it at the latter half of this article.

Key Words: Overutilization, CT/MRI, Radiology, Healthcare reform, Accreditation.

平成23年10月25日受付

*連絡先 山田 恵 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上ル梶井町465番地

kyamada@koto.kpu-m.ac.jp

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

はじめに

問題提起の多くが医療の話題に限らず、米国にその起源を発することは本稿で取り上げる過剰使用 (overutilization) も全く同じです。その背景因子としては ① 急成長する画像診断領域の支出 (医療費高騰への懸念)¹⁾、及び ② 増加し続ける CT スキャンによる放射線被曝、の二者が挙げられています²⁾。診療領域によっては CT スキャンの使用頻度が顕著な成長を示しており、過去十年間で3倍以上になった分野も存在します³⁾。本稿では前半部分でどのような経緯で米国にて、この事が問題となったか、という背景因子について述べた上で後半では日本における特有の事情を加味して、現状の解説を試みたいと思います。

医療費が GDP の半分になる日

周知のごとく米国での医療費は世界中で突出して高く、現時点でも国内総生産 (GDP: Gross Domestic Product) の 16% を超える状況にあります。これは比率で言えば日本の約二倍の資金を医療業界で消費している計算になります。米国で現在の医療費成長率を維持した場合、2015 年には 20%、そして 2082 年には 47% を占めると想定されています。もちろんこれは状況を完全に放置した場合、という仮定の上の数字です。いずれにせよ医療費抑制は米国における数十年来の課題であり続けたわけです。

医療費高騰への対策

1970 年代にはすでに始まっていた米国での医療費高騰の懸念から、対策として考え出されたのが民間の医療保険会社による医療のコスト管理です。これをマネジドケア^{*1}と呼びます。民間による「効率性の追求」が医療費抑制に繋がることを期待したアクションでした。医療を「公共財」と位置付けた他の多くの先進国と比べると米国での「市場原理導入」はとても目新しいものでした。このシステム下では HMO^{*2} を含む民間保険会社が医者と患者の間に介在し、医療費還付を行います。読者の中にも留学中に

Blue cross and Blue shield 等の保険会社と契約された方も多いと思いますが、これらが HMO に相当します。

このマネジドケアと呼ばれるシステムの開始当初は加盟者がそれほど多くなかったようです。しかし約 20 年を経て 1990 年代からは急速な増加に転じ、現在は一部の公的医療費 (メディケア、メディケイド^{*3}) を除けば大多数の国民がこのメンバーになって医療費のカバーを受けています。

市場原理

しかしながら市場原理にも弱点はあります。民間医療保険会社は利益を生み出し続けなければいけません。そのためには保険料を上げざるを得ない局面が必ず発生します。これが高じると保険料の高騰が始まります。実際に家計における保険料の占める割合は年々高くなっており、負担率の高い州では所得の 3 分の 1 近くを占めると聞きます。高額な保険を購入できない家庭は無保険となるわけですが、このような国民が全体の 8 分の 1 (4600 万人) を占めるとされます。しかし大企業や中間富裕層 (保守的白人層) を代表する共和党政権は、これを個々人の「選択の自由」の範疇としてきたわけです。

オバマ政権誕生

2008 年に劇的な大統領選挙の末に民主党のオバマ大統領が誕生したことは記憶に新しいと思います。以前の民主党政権を担ったクリントンもそうであったように今回の政権でも医療制度改革は、公約の中で重要な位置をしめました。国民皆保険に一步でも近づくことを目指したオバマ政権下では今まで民間に丸投げされていた医療システムへの政府の介入が想定される訳ですから、それに伴う政府の負担増は必至です。財政問題を抱える政府側としては、支出節減のために思い切った医療費削減が必須と考えるのはごく自然です。

医療費抑制を見越した動き

さてこの来るべき大改革への準備をいち早

く開始したのが放射線科医の団体である American Board of Radiology^{*4}(ABR) でした。彼らが、いち早く行動を起こした理由は、自身が多大な医療費を消費していることを認識していたからです。実際に画像関連のコストは過去十年間に他領域と比して二倍のスピードで成長していました。高い成長率は主としてCTやMRIそしてPETのようなハイテク技術の普及に依存しています。そこでABRは連邦政府からの締め付けに先回りするようにして、自主規制の方向性を打ち出すことを計画しました。

ABRが行ったことは2009年8月に首都ワシントンDCでの二日間にわたるサミット会議でした。彼らはDCに産業界を含む60の組織・団体を招いて討論を行ったのです。その中で出てきた様々な方策や意見をまとめて、過剰使用をいかにして防ぐか、といったことを文書としてまとめRadiology誌上に公表しています¹⁾。この雑誌は北米の放射線科医が中心となって刊行する画像診断領域のトップジャーナルです。このような時事問題が大きく取り上げられることから、関心度の高さが判ります。さてこの論説を紐解いて見ますと様々な方策が記載されていますが、以下にはその中でも過剰使用にまつわる重要事項を七つ選択して羅列するに留めます。

- Health System (pay per procedure)
 - 出来高制の弊害
- Defensive Medicine → 防御的医療の弊害
- Comparative Effectiveness Research
 - 検査有効性に関する研究の必要性
- Practice Guidelines
 - 診療ガイドラインの必要性
- Duplicate Imaging Studies
 - 重複する検査を減らす
- Accreditation of Imaging Facilities
 - 施設認定システムの活用
- Self-Referral → 自施設への紹介を抑制する

上記項目の中で日本では、なじみの薄い単語が最後に挙げた self referral だと思います。これは医療事情の違いによるものか、日本ではほ

とんど議論されることのない概念です。しかし、いずれ日本でも取りざたされる可能性は考えられますので、以下に少し解説を行います。

Self referral とは？

これはすでに米国では一般化した概念で、営利目的に患者を自分と関連する施設へ紹介することを self referral と呼びます^{*5}。米国で具体的に問題となり得るのは以下のような事例です。即ち「開業医が自身のクリニックで所有するCT装置に自分の患者の検査をオーダーすること」、これが self referral に相当します。我が国において、これは至極当たり前の医療行為のように思われますが、ではなぜ米国では問題となるのでしょうか？

性悪説に基づくシステム

Self referral が批判される背景には米国における性悪説を基としたルール作りが深く関与しています。即ち経済的インセンティブがあれば利益誘導のために医師が自分にとって都合の良い診療形態を形成する可能性を想定したわけです。言い換えますと self referral の看過が適応の乏しい検査や手技の増加につながることを恐れたわけです。不要な検査および手技は支払い者側（米国では民間医療保険会社）からみると大きな経済的損失ですし、患者側から見ても経済的喪失のみならず、副作用による不利益を被る可能性もあります。

このような事情を勘案して米国では約20年前に Stark law^{*6} と呼ばれる法律が self referral を禁じています。最初はメディケアと呼ばれる高齢者医療保険の血液検体検査に適用されましたが、その後拡大してメディケイド（貧困者医療保険）にも適用されています。この手法は徹底的にコストエフェクティブですが、逆に最低限必要と思われるような検査すら排除してしまう傾向は否めません。従って現在も民間保険を使った医療では、これを完全には排除していません。

さて我が国では、どちらかと言うと性善説に基づいて医療システムが設計されています。

従って self referral が話題になることは、ほとんどありません。しかし今後、医療費縮減や医療被曝の問題で話題となる可能性は十分にありますので記憶に留めておく価値があります。

我が国特有の事情

冒頭の項目で述べましたように米国における過剰使用の問題は主として医療費に占める画像診断の支出を圧縮しようという試みであり、動機は主として経済的側面にありました。これと比べると我が国には全く独自に別の問題が存在します。周知のごとく我が国は世界屈指の経済大国で、産業・技術のレベルも極めて高く、自国で CT や MRI を開発し、輸出できる数少ない超先進国です。これに加えて国民の健康に対する意識が高く、高齢者の受診頻度を含めて医療への依存度は極めて高いことも周知のとおりです。これらを反映してか、例えば CT スキャナ程度であれば、ご近所の開業医でも持っている

る、と言う特殊性は日本ならではのものです。

これに比べると諸外国においては、高額医療機器の稼働台数はそれほど多くはありません。以前に筆者が放射線専門医学会を通じて行った調査によれば英国 (UK) でも日本の数分の 1 しか高額医療機器を保有していません (図 1, 許諾を得て転載)⁴⁾。保有台数が少ない理由の一部は設置に際して厳しい施設基準が設けられているからです。

医療費の方程式

対極にあるのが我が国の政府の取った手法です。それは「設置にあたっては厳しいルールは科さないけれども、代わりに検査費用を安く抑える」というものです。例えば MRI を例にとってみれば、米国では 1 回検査すると 10 万円、ヨーロッパでも安くて 5 万円はする高額な検査ですが、我が国では 1 万円強程度で済みます。このような安価な検査を提供している先進国

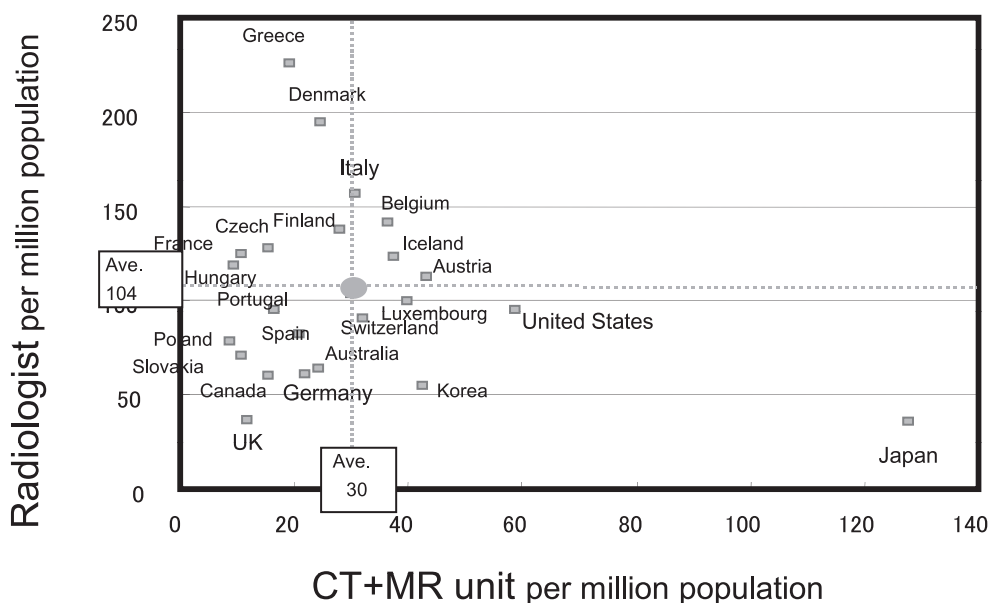


図1 高額医療機器の台数と放射線科医数の国際比較を行った論文からの抜粋。我が国における CT や MRI の台数が際立って多いことが判ります (横軸が医療機器の数)。米国は我が国に次いで保有台数が多いものの日本と比べると半分以下です。一方、これらの医療機器を運用する放射線科医の数は日本で世界水準の最下層にあります (縦軸が放射線科医の数)。このような大きなミスマッチは他に例がなく、我が国独特の現象のようです。

は、ほとんどありません。

高い検査、安い検査、そのいずれのシステムを導入するにせよマクロな経済的観点で言えば【総支出】＝【検査件数】×【一件あたりの検査費】ですから、右辺のどちらか一方を低く押さえておけば総支出は同じです。欧米の方針は施設基準によって稼働台数（そして件数）を抑制するというもので、それに対して日本のとった手法は検査費用を安価に押さえると言うものです。

施設基準を設けなかった理由

諸外国では当たり前であった厳しい施設基準を我が国では、あえて設けないという独自の選択を行ったのには大きく分けて二つの要因が想定されます。一つ目が地域医療の維持です。施設基準を甘くしておくことで、高額医療機器の普及を図れます。僻地でも検査を受けられるというのは国民側から見れば有難いことです。しかし、このスタンスをとれば医療費への影響はいずれ無視できなくなります。

それにもかかわらず施設基準を設けなかった二つ目の理由は「産業育成」と考えられます。前出のごとく我が国では独自に医療機器を開発できます。国内メーカーの発展を考えた場合、医療機器の出荷台数が増えた方が産業界のためには良さそうです。

ひるがえって自国に医療機器を製作する産業基盤がない国においては、高額医療機器の輸入は医療費の支払い者側（政府や保険会社）としても最小限にとどめたいと考えるのはごく自然です。このように医療は各国の事情を反映した経済的恣意性の上に平衡を保ちながら運営されているわけです。その効を奏してか我が国においては画像診断領域での医療費高騰が問題となった形跡はありません。一方でこのような独自性に伴い、他の先進国では見られない興味深い現象が発生しました。それを次の項目で述べたいと思います。

世界一となった日本

現在、全世界には2万台以上のCT装置が稼働中であり、そのほとんどが先進国にありま

す。とりわけ注目すべきは我が国に、これら全世界のCT装置の半数以上が集中して存在することです。これはもちろん群を抜いての第一位です。このことは意外に知られていませんし、メディアでも話題とされることはほとんどありません。しかし、この事実には重大な負の側面があります。それは医療被曝です。我が国での医療被曝が極めて高いレベルにある可能性がLancet誌の論文に発表されております⁵⁾。この論文によると日本の被曝量はOECD*⁷加盟国中で突出しており、他国の中央値と比して二倍以上と指摘されています(図2、許諾を得て転載)。当然ながら、これは癌発生率とも比例しますので、同論文中で想定された被曝による癌発生率も欧米の3倍と算定されています。

なぜ世界一になってしまったのか？

医療被曝が先進国の中で突出している原因は先に述べた稼働台数が強く影響しているのは間違いないと思われます。そして、もう一つの原因は、検査が安価である為に気軽にオーダーを出しやすいことも関与しています。即ち我が国のとった独自の方策である「設置基準なし、安価な検査」という組み合わせは「医療被曝増加」という副作用を伴った処方箋であったこととなります。加えて言えば、医療従事者や患者の被曝に対する意識が必ずしも高くもないことも一因かもしれません。原因が何であるにせよ医療被曝が世界トップであるということは決して自慢できる事柄ではありません。

汚名返上；小手先の解決

ではどのようにすれば医療被曝を抑制することができるのでしょうか？方法は幾つかあると考えられますが、比較的良好に議論されるものの一つが適応基準の厳格化です。例えば最近の事例ではFDG-PET*⁸の適応が他の検査と比べて、かなり例外的に厳格であったことを認識されている先生も多いと思います。これをCTやMRIにも広げると検査数抑制に繋がる可能性はあります。

また米国での取り組みの一つに appropriate-

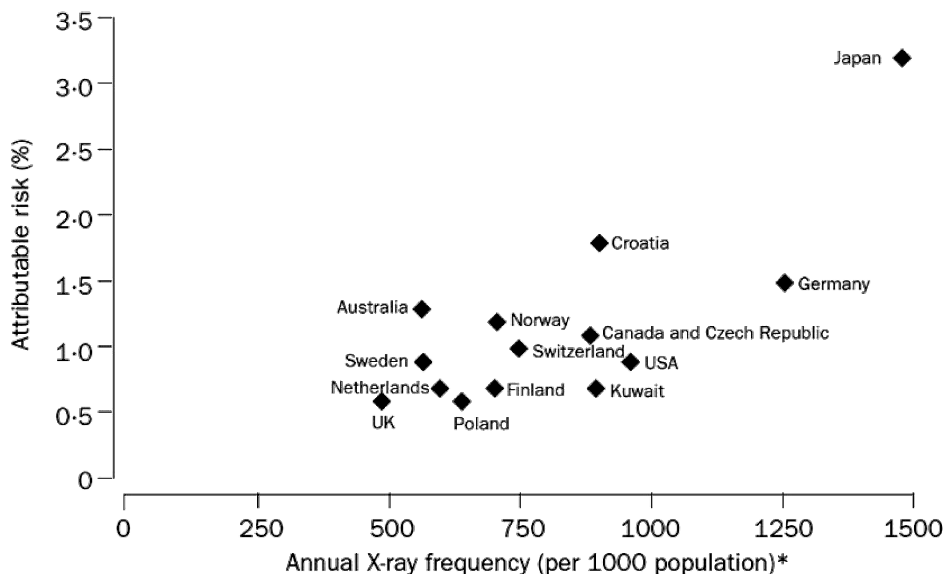


Figure 3: Risk of cancer attributable to diagnostic X-ray exposures versus annual X-ray frequency

*Taken from worldwide survey.¹

図2 エックス線を用いた検査に伴う発癌リスクの関係を国別に示した図。検査数の多い日本では、これと比例して癌の発生リスクも高いことが示されています。検査数の世界第2位がドイツ、そして3番がアメリカとなっており、医療機器メーカーが存在する国が上位を占めます。本論文は当時、大きな話題となり様々な反響を呼びました。数多いレターのやりとりが誌上でなされています。

ness criteria の作成が挙げられます。これは検査選択の適正度を示す基準であり、診療の手引きとなっています (<http://www.acr.org/ac>)。これを検査のオーダリングシステム上に導入することで検査数を抑制できたという報告があります⁶⁾。しかしこのような「小手先」の手法で検査数は本当に現在の1/3に減るでしょうか？筆者を含む一群の人間は無理だろうと考えています。

汚名返上；根本的解決

もしも本気で医療被曝を現在の1/3にすることを目指すのであれば欧米のように厳しい高額医療機器の施設基準を設けることが最も重要な方策となると思います。実際に先進国の中で設置基準がない国はほぼ存在しません。アジア先進国では筆者の知る限り韓国や台湾、そしてシンガポールには厳格な設置基準があります。

では施設基準がなぜ、それほどに重要なのでしょう？実は日本中に存在する高額医療機器は、そのかなりの数が大病院ではなく、市中の小さな病院や医院に分散して存在します。このような施設では概して非効率的な医療機器の運用がなされています。例えば小さな病院での勤務経験がある医師で、以下のような経験をした覚えがある人はいませんか？すなわちCT・MRI検査が午前中で終了してしまい、午後には技師さんが暇をもてあます、といった状況です。一方で大学病院を含む大規模施設に目を移すと、全ての医療機器がフル稼働で、臨時検査を入れるのも一苦労という状況です。即ち病院規模が小さくなるほど高額医療機器の運用効率は低下するという一般原則があるわけです。

利用率が低ければ医療被曝も少ないから問題はないのでは、と考えるのは至極当然です。し

かしながら現実はずし、そう単純ではありません。利用率の低い機器を保有すると、概して適応基準が甘くなりがちです。これは医療機器から利益を出さなければいけ無からです。特に経営者側は高額医療機器が眠っていることを嫌います。例えば入院中の寝たきりの患者に胸腹部のCT検査を月に1回、定期的に行うことが、血液検査と同様にルーチンの一部となっている施設もあると聞きます。これらの検査は患者の健康維持のためというよりは機械の維持のために施行されている側面は否めず、我が国における無駄な医療被曝は、かなりの部分がこういった self referral 的な環境下で発生している可能性があるわけです。

施設基準；pros and cons

では根本的な解決を目指して厳しい「施設基準」を設けると、どうなるのでしょうか？高額医療機器の設置に際して一定数以上の放射線科医、技師、医療物理士の雇用を義務づけ、そしてこれら人員をもって一定数（多すぎず、少なすぎず）の検査を行わせ、さらにこれら検査の安全管理と品質管理を義務付けるとします。そうすると必然的に大病院やイメージングセンターに高額医療機器が集中的に配置されることになります。これにより必然的に機器の運用効率は高まります。そうする過程で無駄な検査が減り、国民の被曝は減少し、さらには医療費の抑制も期待されます。

施設基準を設けることの唯一の欠点を挙げるとすれば、検査への「アクセス低下」が挙げられます。今までは、ご近所の小規模医療機関（診療所等）で受けることが可能であった検査が、

基準をクリアした施設でしか受けられない、という状況を作り出すことになります。医療過疎地においては、これは問題となりえます。従って地域によって多少は基準を変えざるを得ないのかもしれない。

いずれにせよ我が国における医療システムの最大の弱点は資源の「分散配置」です。これをまず都市部にて集約型へと転換していくことで、より効率的で、かつレベルの高い医療が提供可能となります。「施設認定」はそのきっかけとなる重要な概念である可能性を考えます。

ま と め

米国に端を発した医用画像の過剰使用に関して概説を試みました。同じ問題は必ず我が国にも波及すると思われ、これに対する方針を考えなければならぬ時期がきているのかもしれない。また医療被曝という点で日本が世界一という不名誉なレッテルが張られた状態です。被曝に対する啓発という観点で社会的責任のある放射線科医の一人として、本稿執筆にあたり、その重責を再認識しました。引き続き状況打開に向けて活動継続の必要性を痛感しました。

謝 辞

施設基準策定の陣頭指揮をとって頂いている放射線科専門医会・会長である水沼仁孝先生、そして委員会のコアメンバーとして活動を共にする井田正博先生（副会長・荏原病院）、高木亮先生（日本医大）、兵頭秀樹先生（札幌医大）そして外部評価委員の木村浩彦先生（福井大学）、楫靖先生（独協医大）にこの場を借りて謝辞を述べます。

文 献

1) Hendee WR, Becker GJ, Borgstede JP, Bosma J, Casarella WJ, Erickson BA, Maynard CD, Thrall JH, Wallner PE. Addressing overutilization in medical imaging. *Radiology* 2010; 257: 240-245.
 2) Brenner DJ, Hall EJ. Computed tomography—an increasing source of radiation exposure. *N Engl J Med*

2007; 357: 2277-2284.
 3) Kocher KE, Meurer WJ, Fazel R, Scott PA, Krumholz HM, Nallamothu BK. National Trends in Use of Computed Tomography in the Emergency Department. *Emerg Med* 2011 Aug 9. [Epub ahead of print]

- 4) Nakajima Y, Yamada K, Imamura K, Kobayashi K. Radiologist supply and workload: international comparison: Working Group of Japanese College of Radiology. Radiat Med 2008; 8: 455-465
- 5) González A, Darby S. Risk of cancer from diagnostic X-rays: estimates for the UK and 14 other countries.

Lancet 2004; 363: 345-351.

- 6) Vartanians VM, Siström CL, Weilburg JB, Rosenthal DI, Thrall JH. Increasing the appropriateness of outpatient imaging: effects of a barrier to ordering low-yield examinations. Radiology 2010; 255: 842-849.

用語解説

1. HMO (Health Maintenance Organization) : 企業が福利厚生として提供する健康保険の種類の一つであり、現在最も一般的な保健形態とされています。HMOの原型は1929年(世界恐慌の年)に登場する医療の一括請負サービスとされます。これは複数医師による共同開設の形で運営され、市役所勤務者に対する医療の提供を行ったものです。しかし当時の医師会はこの前払い型の医療保険に対しては強い反対姿勢を崩さず、1970年代に至るまでは広く普及するには至りませんでした。1973年になりニクソン政権が医療費抑制対策としてHMOの普及に踏み切ります。Preferred Provider Organizations (PPO) はHMOについて加入者の多い保険形態で、HMOと比べると自由度が高いという特徴がありますが負担額はわずかに割り増しになります。
2. マネジドケア : 1970年代以降にHMOの普及に伴い発生した概念で、医療費を抑制するために徹底的な管理医療の手法を用いた保険制度の総称です。各種の医療行為について保険者(民間会社)がその治療費や薬の品目にまで具体的に立ち入って管理し、制限を課すことで医療費の抑制を図っています。ちなみに現在我が国でも使用されているDRG (Diagnostic Related Groups) 等の概念はHMOの医療費コントロールを管理する目的でイェール大学の研究者によって作成されたものです。
3. メディケア (Medicare)・メディケイド (Medicaid) : 米国の公的医療の名称です。前者が高齢者向け医療(65歳以上を対象)、そして後者が貧困者医療保険を指します。米国における国民皆保険制度の議論は1930年代にはじまり、その後、1960年代のケネディ政権に引き継がれました。しかし、その度に医師会の反発で実現しませんでした。このような状況下で、せめて高齢者や貧困者に対する医療を実現しようという発想から生まれたのがこれら制度のようです。しかしながら、これらの制度設立後には期待された通りに医療

費が著しく増加し、このため時のニクソン政権は対応に迫られました。

4. American Board of Radiology (ABR) : 米国における放射線科の専門医制度を管轄する団体です。米国ではこのほかにAmerican College of Radiology (ACR) という別団体も存在し、ロビー活動や教育事業を中心として活動を行っています。我が国ではJCR (専門医学会) がこれら機関の機能の一部を担い活動中です。
5. Self referral : Wikipediaによりますと以下のようにあります ; Physician self-referral is a term describing the practice of a physician ordering tests on a patient and having them performed either by himself or by a facility from which he receives a financial incentive for the referral.
6. Stark law : 1989年に制定された法律。アメリカ合衆国においては作成された法律には発起人の名前がつけられる慣習があり、この法律に関しても同様にスターク議員の名前がついています。
7. OECD : 経済協力開発機構 (Organization for economic co-operation and development) の略称。ヨーロッパ諸国を中心に日・米を含め30ヶ国の先進国が加盟する国際機関です。余談となりますが2009年のOECD算出データによれば我が国の総医療費の対GDP比は先進国の平均を大幅に下回り、概算で8.5%でした。これはチリやチェコよりも少し高く、スロバキアよりも少し低いレベルにあります。
8. FDG-PET : フルオロデオキシグルコース (FDG) はブドウ糖類似物質であり、これを使ったポジトロン断層法 (PET) をさす略語です。2002年4月には本邦においても12種類の疾患に対して保険適応が認められ、臨床に使用できるようになりました。2010年4月よりこの適応基準が以前より少し広がっております。

著者プロフィール



山田 惠 Kei Yamada

所属・職：京都府立医科大学放射線医学教室 講師

略 歴：1989年 京都府立医科大学医学部卒業

1989年 京都府立医科大学病院研修医，放射線科勤務

1991年 聖マリアンナ医科大学病院研修医，放射線科勤務

1994年 アメリカ合衆国メリーランド大学リサーチ・フェロー

1995年 アメリカ合衆国ロチェスター大学クリニカル・フェロー

1997年 アメリカ合衆国マサチューセッツ総合病院クリニカル・フェロー

1998年 京都府立医科大学病院修練医，放射線科勤務

1999年 京都府立医科大学病院助手，放射線科勤務

2003年 京都府立医科大学病院講師，放射線科勤務

現在に至る

専門分野：画像診断学（特に中枢神経）

The Neuroradiology Journal 誌 (Italy) : Vice-Editor-in-Chief

Neuroradiology 誌 (Germany) : Editor

American Journal of Neuroradiology 誌 (USA) : Editor

International Society of MR in Medicine (ISMRM) : Publication Committee

日本磁気共鳴医学会：代議員，国際交流委員，将来計画委員

日本医学放射線学会：代議員，国際交流委員

日本放射線科専門医会 (JCR) : 理事

日本磁気共鳴医学会：理事

- おもな業績： 1. Yamada K, et al. MR imaging of the mamillothalamic tract. Radiology 1998; 207: 593-598.
2. Yamada K, et al. MR perfusion-weighted imaging of acute cerebral infarction. Stroke 2002; 33: 87-94.
3. Yamada K, et al. Clinically feasible diffusion-tensor imaging for fiber tracking. Radiology 2003; 227: 295-301.
4. Konishi J, Yamada K, et al. MR tractography for the evaluation of functional recovery from lenticulostriate infarcts. Neurology. 2005; 64: 108-113.
5. Kinoshita M, Yamada K, et al. Fiber-tracking does not accurately estimate size of fiber bundle in pathological condition. Neuroimage. 2005 1; 25: 424-429.
6. Yamamoto T, Yamada K, et al. Tractography to depict three layers of visual field trajectories to the calcarine gyri. Am J Ophthalmol. 2005; 140: 781-785.
7. Yamada K, et al. Somatotopic organization of thalamocortical projection fibers as assessed by MR tractography. Radiology 2007; 242: 840-845.
8. Murakami A, Morimoto M, Yamada K, et al. Fiber-tracking techniques can predict the degree of neurologic impairment for periventricular leukomalacia. Pediatrics 2008; 122: 500-506.
9. Yamada K. Diffusion tensor tractography should be used with caution (letter). Proc Natl Acad Sci USA 2009; 106: E14.