

综述

煤工尘肺的影像学 诊断研究进展

1. 徐州医学院第二附属医院影像科

(江苏 徐州 221006)

2. 徐州医学院附属医院影像科

(江苏 徐州 221002)

杜 鹏^{1,2} 徐 凯²

【关键词】煤工尘肺；影像学诊断；多层螺旋CT；低剂量扫描

【中图分类号】R135.2

【文献标识码】A

DOI: 10.3969/j.issn.1672-5131.2015.08.035

通讯作者：杜 鹏

煤工尘肺(coal worker's pneumoconiosis, CWP)是指煤矿工人长期吸入生产环境中粉尘所引起的肺部病变的总称。在我国卫生部规定的职业病名单中包括12种尘肺，其中煤工尘肺是发病人数最多的一种。据卫生部统计，全国大约有120万尘肺病患者。相关调查显示，每年尘肺病造成的直接经济损失达80亿元人民币。因此，对煤工尘肺的诊断及治疗对缓解经济压力，保证煤炭安全生产，改善煤矿工人的身体健康状况均具有重要的意义。作为一种临床疾病，尘肺的诊断是综合性的，包括病因诊断、X线诊断、肺功能性诊断等，其中X线诊断是尘肺综合性诊断的核心。参照国际劳工组织(International Labour Organization, ILO)2000年发布的尘肺X线表现国际分类最新标准，我国于2009年7月发布了新版《尘肺病诊断标准》(GBZ70-2009)。

1 煤工尘肺的概念

煤工尘肺是由于煤矿工人长期吸入单纯煤尘和煤矽混合的煤尘，引起肺内弥漫性间质纤维化和煤矽结节的形成。因肺组织对单纯的煤尘具有较强的清除能力，单纯煤尘引起的肺部病变病程较缓慢，多在20~30年后表现出明显的症状，病变以形成肉眼可见的尘斑为特征；煤矽混合尘因含有矽结节，侵袭性较强，在正常情况下无法被肺组织清除，随着时间 and 数量的累积，逐渐与煤尘融合，形成煤矽混合性结节，并引起弥漫性肺间质纤维化，病变进展到晚期，可出现大块纤维化^[1]。

2 煤工尘肺的病理生理改变

煤工尘肺的病理学改变与影像学表现存在一定的相关性，随着煤工尘肺期别的增加，病理生理改变也越显著，各期的病理生理进程基本都能在影像学检查上观察到。

2.1 基本改变 煤工尘肺的基本病变是肺间质弥漫性煤尘沉积和煤尘灶的形成，弥漫性肺间质纤维化及弥漫性灶周肺气肿，有些病例有煤矽结节形成，晚期可出现进行性大块纤维化。两肺表面呈黑灰色或黑色，在黑灰色的背景上可见大量黑色斑点、斑块或结节，病变均匀分布于全肺。病变严重者，肺脏的重量、体积和硬度均显著增加，切面也可见到斑块、斑点或结节弥漫分布，并有不同程度的肺气肿。肺间质的改变表现为在肺泡、细叶和小叶间隔周围，以及血管和支气管周围的间质，均可见不同程度的纤维组织增生，肺内凡有煤尘沉着的部位，都伴有轻重不等的间质纤维化。胸膜的改变主要表现为胸膜壁层和脏层均可见程度不同的煤尘性纤维化和煤矽结节形成，胸膜不同程度增厚^[2-3]。

2.2 镜下观察 煤工尘肺的肺组织在镜下观察可以发现典型病理改变的细微结构，包括煤矽细胞结节、煤矽结节和大块纤维化。

①煤矽细胞结节：结节中尘细胞较多，且常呈同心圆排列，与煤尘细胞灶的尘细胞不规则排列不同，随着病变的发展，胶原纤维逐渐增多，形成纤维细胞结节。

②煤矽结节：可分典型煤矽结节和不典型煤矽结节。典型煤矽结节，中心由胶原纤维呈同心圆排列构成，且常有玻璃样变，在胶原纤维束之间有煤尘沉积，外周由大量煤尘细胞、煤尘、成纤维细胞、网状纤维和少量胶原纤维组成，并沿周围肺泡间质向四周呈放射状延伸；不典型煤矽结节，胶原纤维呈不规则的束状排列，其间由较多的煤尘和煤尘

细胞构成，胶原纤维的量超过结节组成成分的50%。

③大块纤维化：一种为弥漫性纤维化，由结缔组织包围了很多碳素粉尘组成，其内很少有煤矽结节，胶原纤维也较矽结节为少，多分布在两肺上部和后部，大块的中央由于缺血可发生坏死，出现含有黑色液体的空洞；另一种为大块纤维化病灶中可见煤矽结节改变。在大块形成的过程中，肺组织有明显的收缩，故在大块纤维化周围可形成肺大泡和肺基底部的肺气肿^[4]。

2.3 病理生理改变 煤工尘肺的病理生理改变与临床表现密切相关，煤尘灶引起正常肺间质的纤维组织增生，形成弥漫性肺间质纤维化；刺激呼吸性细支气管邻近的肺泡，形成灶周肺气肿；晚期出现进行性大块纤维化。因此，煤工尘肺患者往往出现慢性阻塞性肺疾病的临床表现，随着病程的进展，呼吸困难也逐渐加重。

2.3.1 煤尘灶的形成机理：煤尘灶是由于煤尘随呼吸进入肺组织并在肺内沉积，巨噬细胞吞噬煤尘颗粒，当煤尘颗粒沉积量超过巨噬细胞的清除能力，致使大量煤尘及吞噬了煤尘的巨噬细胞较长时间滞留在二级以下呼吸性支气管及肺泡里。进入肺组织的煤尘，90%沉着在远离终末细支气管以下无纤毛上皮的呼吸道表面，大部分尘粒以游离状态或被巨噬细胞吞噬，通过肺泡液带至终末细支气管的纤毛上皮后排出体外，小部分进入肺间质沿淋巴液移行。吞噬了大量煤尘的巨噬细胞体积较大，在肺间质中导流不畅，另一方面，进入肺泡间隔的尘细胞在呼吸性细支气管开口处的淋巴集合滞留并聚集，形成煤尘细胞灶，随着时间的推移，网状纤维增生，并可能伴有胶原纤维增生，最终形成煤尘纤

维灶。但并不是所有的煤尘颗粒均可致病，在呼吸性煤尘中直径大于10 μm的煤尘在空气中很快沉降，或吸入后被鼻腔鼻毛阻留，随鼻涕排出；10 μm以下的煤尘，绝大部分被上呼吸道所阻留；5 μm以下的煤尘，可进入肺泡；0.5 μm以下的煤尘，因其重力小，不易沉降，随呼气排出，阻留率下降；而0.1 μm以下的煤尘因布朗氏运动，阻留率反而增高。也就是说，直径在0.5 μm-5 μm及<0.1 μm的煤尘是主要的致病颗粒^[5]。

2.3.2 煤尘灶周肺气肿的形成机理：在煤尘灶形成的过程中，呼吸性细支气管邻近的肺泡，由于煤尘与煤尘细胞持续过量堆积，使得管壁受压，煤尘与煤尘细胞侵入局部肺泡间质与呼吸性细支气管管壁间质内，使管壁固有的平滑肌和弹力纤维受损，以致在呼吸性细支气管呼气时，气体不易呼出，吸气时被动扩张，这样反复的一呼一吸，气体入多出少，肺泡逐渐扩张，形成小叶中心性的灶性肺气肿^[6]。

2.3.3 进行性大块纤维化的形成机理：进行性大块纤维化的形成，与吸入粉尘量、吸尘时间、粉尘在肺内滞留性及致纤维化作用的强弱等有关，目前形成的机理不明确。国外有学者提出，部分煤矿工人对煤尘有明显的特异性反应，从机体的免疫反应性、外加的分支杆菌或纤维化等方面进行解释；有人推测，促使大块纤维化发展的因素首先是免疫反应性提高，随后免疫球蛋白在尘肺组织内沉积，球蛋白形成了适于纤维组织发展的基质，利于胶原产生；另有一些研究表明，自身免疫因素可能影响由单纯性尘肺发展到大块纤维化，也有可能自身抗体使胶原变性而发展成为大块纤维化^[7]。

3 煤工尘肺的影像学检查

目前煤工尘肺的影像学检查主要有以下几种：高千伏X线摄影、直接数字化X线成像(DR)、计算机断层扫描成像(CT)和磁共振成像(MRI)。

3.1 高千伏X线摄影 我国尘肺诊断(GBZ70-2009)做出规定，高千伏(100-120kV以上)后前位胸片是尘肺诊断的最基本方法^[8-9]。高千伏X线摄影利用高压发生器与高密度滤线栅相匹配，获得在较小密度值范围内显示多层次的X线影像，图像质量高，层次丰富，所得图像中的肺野纹理多而清晰、肋骨影淡化。

3.1.1 煤工尘肺高千伏X线胸片表现：①圆形小阴影：分“p”、“q”、“r”三类，以“p”、“q”类圆形小阴影为主，“p”最大直径约1.5mm，“q”直径大于1.5mm，小于3mm。常成簇地出现，开始多数先出现在中、下肺野，以右侧为著。随着病变的进展，小阴影分布越来越广泛，可逐渐弥漫分布到全肺野。②不规则形小阴影：分“s”、“t”、“u”三类，以“s”、“t”类不规则小阴影为主，“s”宽度不超过1.5mm，“t”宽度大于1.5mm，不超过3mm。开始多见于肺中野的内中带，逐渐扩展到外带及上、下肺野，表现为界限模糊而不整的索条阴影相互交织而成网状，密度较高。③大阴影：指直径大于1cm的阴影，也称大块融合或进行性大块纤维变，多呈对称性的出现于两肺上中野，常见“八”字形、圆形或椭圆形。④胸膜斑：不同程度的胸膜肥厚、粘连及钙化改变，形成胸膜斑。⑤肺门改变：肺门阴影扩大，密度增高，有时可见钙化的淋巴结^[10-12]。

3.1.2 煤工尘肺高千伏X线摄影优缺点：高千伏X线摄影优点：

①降低管流量，减少X线管产生的热量，延长X线管寿命。②增加管电压值，缩短曝光时间，减少运动畸形，提高X线照片的清晰度。③可获得低对比，层次丰富的X线照片。④和传统低千伏(60~70kV)胸片相比，高千伏胸片对心脏及肺部组织阴影的放大率小，影像的可见度高，结构清晰，非常利于观察肺部的细微病变。

高千伏X线摄影缺点：①散射线较多，X线照片质量较差。②损失了照片对比度，曝光条件严苛。③普通胸部X线片，不论后前位、侧位或斜位，所显示的都是立体物体的平面像，因此不同深度的组织、器官以及病变阴影都重叠在一个平面上，使得要观察的病灶不够突出，常常会低估病变的真实范围，这也是胸部高千伏X线片难以回避和难以解决的问题^[13]。

3.2 直接数字化X线成像(Digital Radiography, DR) DR利用平板探测器收集透过人体的X线信息，通过计算机的处理转换输出模拟X线图像。与高千伏X线胸片相比，DR图像清晰度更高，密度分辨率也有所增加，运动伪影及散射线的影响减少，更容易发现肺部小结节性病变。DR图像层次丰富，可清楚地显示肺部细微结构，甚至肺野外带直径2mm的血管影像能清晰可见^[14]。

煤工尘肺DR检查优缺点：煤工尘肺DR检查优点：①被检者受到的X线辐射剂量少。②具有更高的动态范围和更大的对比度范围，图像层次更丰富。③图像分辨率提高，成像速度更快，工作效率更高。最重要的是，DR使得X线信息数字存储成为现实，可以在计算机上对图像进行多种后处理，也易于影像资料的保存。与传统的高千伏胸片相比，DR对肺内结节阴影、不规则阴影和团块阴影的显示无明显的差异性；而在

肺纹理、气管隆突、脊柱等正常解剖结构的显示上，DR图像因其较高的密度分辨率展现出一定优势；同时，DR对肺内间隔线(A线、B线和C线)、局限性及周边性肺气肿、各种胸膜改变和肺门淋巴结钙化的显示并不劣于传统的高千伏胸片^[15~16]。

煤工尘肺DR检查缺点：由于DR的空间分辨率相对不足、图像后处理的不可控性以及较高的维护使用费用，再加上目前国内尚无权威的尘肺诊断数字化摄影标准片，限制了DR在煤工尘肺影像诊断中的运用。不过当下，很多国内外学者都在努力倡导，使用直接数字化摄影及其后处理技术取代传统的高千伏摄影，进行煤工尘肺的诊断和鉴别诊断。与此同时，ILO也已将数字技术拍摄的尘肺X线胸片列入到今后修改尘肺国际分类法的研究计划中^[17]。

3.3 计算机断层扫描成像(Computed Tomography, CT)

3.3.1 常规剂量CT：CT利用X线穿透人体某一检查部位的固定厚度层面，由检测器接收穿过该层面的X线，经过计算机一系列的转换与处理，输出像素，构成CT图像。

3.3.1.1 煤工尘肺的CT基本表现：①小结节：直径2.0~5.0mm的小结节病变在肺内成簇地出现，一般密度较高，边缘锐利，以类圆形最为常见。开始多数先出现在中、下肺野，以右侧为著，随着病变的进展，结节阴影分布越来越广泛，可逐渐弥漫分布到全肺野。②肺内大阴影：指直径大于1cm的阴影，多呈对称性的出现于两肺上中野，常呈圆形或椭圆形。若病变持续发展，可向下延伸，或向上、下扩展纵穿全肺，或与其下方的融合块相互串联成长条形。③肺间质性改变：肺小叶内肺小动脉和终末细支气管周围间质增厚，前者

表现为点状或分支状，邻近肺周边部，在附近多可见增厚的小叶间隔或变形的肺小叶。终末细支气管周围间质增厚和/或纤维化牵拉，致细支气管扩张，使在正常时不可见的细支气管显示。④肺气肿：分为弥漫性肺气肿、局限性肺气肿、泡性肺气肿、周边性肺气肿以及肺大泡，表现为肺野局部的透亮度增强，肺纹理稀疏，形态各异^[18~23]。

3.3.1.2 煤工尘肺的CT检查优缺点：因为是轴位成像，CT避免了组织器官前后重叠的影响，更有利于肺内小阴影、结节改变、微小肺间质改变、局限性肺气肿以及胸膜改变的显示^[24~25]。普通CT采用逐层扫描，扫描有时间间隔，成像速度慢；多层螺旋CT(multi-slice spiral computed tomography, MSCT)利用滑环技术，螺旋形的扫描轨迹，三维采集数据，比普通CT扫描时间更短，扫描范围更广，采集数据量更大，并可进行多方位的重建；高分辨率CT(high resolution computed tomography, HRCT)采用1.0mm的扫描层厚，能在肺小叶水平上清晰地显示包括肺小叶间隔、肺小叶动脉、小叶支气管在内的肺部微细结构，利于早期诊断尘肺^[26~29]。但是，与常规X线胸片相比，CT的辐射剂量较大。同时，国内外并没有建立相应的尘肺病CT诊断标准，限制了其成为尘肺病的常规检查，而只能作为补充检查和鉴别诊断的方法。

3.3.2 胸部MSCT低剂量扫描：MSCT低剂量扫描就是在其他扫描参数不变的情况下，通过限制特定的扫描参数，降低X线辐射剂量，同时获得满足诊断要求的图像^[30]。由于肺泡和肺实质间、纵膈病变和纵膈脂肪间均有很好的自然对比，因此胸部疾病非常适合使用低剂量CT扫描。通常，限制CT的扫描参数如管电流、管

电压、扫描时间、螺距、层厚等都可以实现降低CT辐射剂量的目的。国内外很多学者的研究表明,保持管电压不变、降低管电流(较常用)和保持管电流不变、降低管电压,是减少CT辐射的最主要的方法^[31-32]。

Naidich在1990年首次提出胸部低剂量CT的概念,即在其他参数不变的情况下降低管电流进行扫描,12名患者分别经10mA与140mA管电流扫描,结果表明,降低mA并没有明显影响肺结构显示,所有病例中正常和病理结构均可以显示,尽管纵隔区噪声和伪影增加,但纵膈结构仍然可以轻易确定^[33]。王亚丽^[34]等利用低剂量HRCT(管电压140kV,管电流150mA)观察肺间质病变,得到的图像与常规剂量HRCT(管电压140kV,管电流250mA)相比,对包括磨玻璃病变、小叶间隔、小叶内隔、支气管血管束、胸膜下线、网状影、蜂窝状影、小结节在内的各项观察指标的显示率均无明显差异,同时,患者的辐射剂量降低了约40%。

胸部MSCT低剂量扫描能显著降低被检者的辐射剂量,在肺部疾病的筛查及复查中具有相当的优势,同时,能减少X线管、探测器等硬件设备的损耗,延长了CT机的使用寿命,节约了运行成本。尽管在某些细节的显示上不如常规剂量CT,伪影和噪声也有所增加,但是并没有影响疾病的诊断。美国胸外科协会(American Association for Thoracic Surgery, AATS)于2012年提出,应该将低剂量CT扫描广泛应用于肺部疾病的临床诊断中^[35]。因此,越来越多的人研究怎样有效的滤除MSCT低剂量扫描图像中的噪声,主要是降噪的算法研究,包括基于分割的图像去噪算法、基于MCMC技术的图像去噪算法、基于EM的图像去噪算法、基于K-L

域的惩罚加权最小均方去噪方法等。

3.3.2.1 煤工尘肺MSCT低剂量扫描:目前,国内关于MSCT低剂量扫描在煤工尘肺诊断中的应用报道不多,仅有谢智峰^[36,30]等对低剂量螺旋CT在矽肺诊断中的应用研究,其研究表明,20mA低剂量与130mA常规剂量螺旋CT扫描在显示矽肺阴影大小、密集度及矽肺分期方面无明显差异,20mA是矽肺螺旋CT扫描的最佳低剂量扫描条件,可以作为矽肺的筛选手段。和单纯矽肺相比,引起煤工尘肺病变的粉尘是混合性的,因此,如何将MSCT低剂量扫描用于煤工尘肺的诊断,在减少病人受到辐射剂量的同时,又能够得到符合诊断要求的图像,值得我们更多的关注和研究。

3.4 磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI) 当煤工尘肺发展到一定阶段,合并进行性块状纤维化时,通过传统X线成像技术往往难以与原发性支气管肺癌进行区别。此时,我们可以利用MRI进行鉴别诊断^[37]。

MRI利用氢质子成像,依据其在被检者体内存在的数量及形式,在外加磁场的作用下,产生磁化和进动作用,获取能量并释放,最终恢复至常态。通常,将恢复过程所需的时间称为弛豫时间(包括T1弛豫时间和T2弛豫时间)。MRI使用突出某种成分的加权成像,包括T1加权成像(T1WI)、T2加权成像(T2WI)、质子密度加权成像(PdWI)。T1WI图像对不同软组织结构有良好的对比度,适于观察软组织的解剖结构;T2WI和PdWI显示病变的信号变化明显,有利于观察病理变化;另外,由于组织脂肪的T1短、T2长、Pd高,有时为了达到脂肪抑制的效果,将TR延长,称为STIR法。

煤工尘肺大块纤维化是一种

弥漫性纤维化,由结缔组织包围了很多碳素粉尘组成,而原发性支气管肺癌的肿块血管丰富,异形细胞代谢旺盛,两者组织结构中包含的氢质子,无论在数量还是存在形式上,均应有较大不同。在MRI图像中,将病变周围的软组织作为参照,煤工尘肺大块纤维化T1WI显示为等高信号,T2WI显示为混杂不均的高低信号,STIR图像表现与T1WI和T2WI相似;而原发性支气管肺癌在各个成像序列上均呈现高信号区。所以,在一定程度上, MRI可以用于煤工尘肺大块纤维化和原发性支气管肺癌的鉴别诊断^[38-39]。

综上所述,煤工尘肺的影像学诊断不仅要依靠传统的高千伏X线摄影,也要结合CT、MRI检查,才能够有效提高煤工尘肺的检出率并与其他疾病做出鉴别。另外,胸部MSCT低剂量扫描能在很大程度上降低被检者受到的辐射剂量。因此,如何将MSCT低剂量扫描用于煤工尘肺的诊断,在减少病人受到辐射剂量的同时,又能够得到符合诊断要求的图像,值得我们更多的关注和研究。

参考文献

1. Petsonk EL, Rose C, Cohen R. Coal Mine Dust Lung Disease: New Lessons from an Old Exposure[J]. Am J Respir Crit Care Med, 2013, 187(11): 1178-1185.
2. Cullinan Paul, Reid Peter. Pneumoconiosis[J]. American journal of respiratory and critical care medicine, 2013, 22(2): 249-253.
3. Leung Chi Chiu, Yu Ignatius Tak Sun, Chen Weihong. Silicosis[J]. Lancet, 2012, 379: 2008-2018.
4. Kimura K, Ohtsuka Y, Kaji H, et al. Progression of pneumoconiosis in coal miners after cessation of dust exposure: a longitudinal study based on periodic chest X-ray examinations in Hokkaido, Japan[J]. Intern Med,

- 2010, 49(18):1949-1956.
5. Xia Ying, Liu Jiafa, Shi Tingming, et al. Prevalence of pneumoconiosis in Hubei, China from 2008 to 2013 [J]. International journal of environmental research and public health, 2014, 11(9):8612-8621.
 6. Jingfu Mo, Lu Wang, William Au, et al. Prevalence of coal workers' pneumoconiosis in China: A systematic analysis of 2001-2011 studies [J]. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 2014, 217(1):46-51.
 7. A. Scott Laney, Edward L. Petsonk, Janet M. Hale, et al. Potential Determinants of Coal Workers' Pneumoconiosis, Advanced Pneumoconiosis, and Progressive Massive Fibrosis Among Underground Coal Miners in the United States, 2005-2009 [J]. American Journal of Public Health, 2012, 102(2):279-283.
 8. 李卫平. 煤工尘肺大阴影的X线片与螺旋CT检查对比分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2010, 208(4):29-31.
 9. 黄登花. 尘肺大阴影高千伏摄影与高分辨率CT的影像学对照分析[J]. 中国CT和MRI杂志, 2014, 212(5):53-54.
 10. Sen Ananda, Lee Shih-Yuan, Gillespie Brenda W, et al. Comparing Film and Digital Radiographs for Reliability of Pneumoconiosis Classifications: a modeling approach [J]. Academic radiology, 2010, 17(4):511-519.
 11. Jun Jae Sup, Jung Jung Im, Kim Hyo Rim, et al. Complications of pneumoconiosis: radiologic overview [J]. European journal of radiology, 2013, 82(10):1819-1830.
 12. Lee Won-Jeong, Choi Byung-Soo. Utility of Digital Radiography for the Screening of Pneumoconiosis as Compared to Analog Radiography: Radiation Dose, Image Quality, and Pneumoconiosis Classification [J]. Health Physics, 2012, 103(1):64-69.
 13. Mao Ling, Laney A Scott, Wang Mei Lin, et al. Comparison of Digital Direct Readout Radiography with Conventional Film-screen Radiography for the Recognition of Pneumoconiosis in Dust-exposed Chinese Workers [J]. Journal of Occupational Health, 2011, 53(5):320-326.
 14. Theodore C. Larson, David B. Holiday, Vinicius C. Antao, et al. Comparison of Digital with Film Radiographs for the Classification of Pneumoconiotic Pleural Abnormalities [J]. Academic Radiology, 2012, 19(2):131-140.
 15. Halldin Cara N, Petsonk Edward L, Laney A Scott. Validation of the international labour office digitized standard images for recognition and classification of radiographs of pneumoconiosis [J]. Academic radiology, 2014, 21(3):305-311.
 16. Lee Won-Jeong, Choi Byung-Soo, Kim Sung Jin, et al. Development of Standard Digital Images for Pneumoconiosis [J]. Journal of Korean Medical Science, 2011, 26(11), 1403-1408.
 17. 蔡志春, 王思红, 李侠, 等. 直接数字化摄影在尘肺病检查及诊断中的应用研究 [J]. 医学影像学杂志, 2014, 24(5):748-752.
 18. Yoon RG, Kim MY, Shim TS, et al. Anthracofibrosis involving lung parenchyma: CT findings and long-term follow-up [J]. J Comput Assist Tomogr, 2012, 36(6):636-640.
 19. Kirchner J, Mueller P, Broll M, et al. Chest CT Findings in EBUS-TBNA-Proven Anthracosis in Enlarged Mediastinal Lymph Nodes [J]. Rofo, 2014 Jun 23. [Epub ahead of print]
 20. Sones PJ, Tortes WE, Colvin RS, et al. Effectiveness of CT in evaluating intrathoracic masses [J]. AJR Am J Roentgenol, 2010, 193(3):469-475.
 21. González Vázquez M, Trinidad López C, Castellón Plaza D, et al. Silicosis: computed tomography findings [J]. Radiología, 2013, 55(6):523-525.
 22. de Castro Marcos César Santos, Ferreira Angela Santos, Irion Klaus Loureiro, et al. CT Quantification of Large Opacities and Emphysema in Silicosis: Correlations among Clinical, Functional, and Radiological Parameters [J]. Lung, 2014, 192(4):543-551.
 23. Kahkouee S, Pourghorban R, Bitarafan M, et al. Imaging Findings of Isolated Bronchial Anthracofibrosis: A Computed Tomography Analysis of Patients With Bronchoscopic and Histologic Confirmation [J]. Arch Bronconeumol, 2014 Jul 10.
 24. Larici Anna Rita, Mereu Manuela, Franchi Paola. Imaging in occupational and environmental lung disease [J]. Current opinion in pulmonary medicine, 2014, 20(2):205-211.
 25. Hering K G, Hofmann Prei? K, Kraus T. Update: standardized CT/HRCT classification of occupational and environmental thoracic diseases in Germany [J]. Der Radiologe, 2014, 54(4):363-367.
 26. Vlasov VG, Laptev V, Logvinenko II, et al. Possible application of X-ray and high resolution CT in pneumoconiosis management [J]. Med Tr Prom Ekol, 2011, 19(10):13-16.
 27. Meijer E, Tjoe Nij E, Kraus T, et al. Pneumoconiosis and emphysema in construction workers: results of HRCT and lung function findings [J]. Occup Environ Med, 2011, 68(7):542-546.
 28. Polverosi Roberta, Russo Rosangela, Coran Alessandro, et al. Typical and atypical pattern of pulmonary sarcoidosis at high-resolution CT: relation to clinical evolution and therapeutic procedures [J]. La Radiologia medica, 2014, 119(6):384-392.
 29. Elke Ochsmann, Tanja Carl, Peter Brand, et al. Inter-reader variability in chest radiography and HRCT for the early detection of asbestos-related lung and pleural abnormalities in a cohort of 636 asbestos-exposed subjects [J]. Int Arch Occup Environ Health, 2010, 83(1):39-46.
 30. 谢智峰, 王顺, 周光荣, 等. 螺旋CT在检测矽肺阴影的低剂量优化选择 [J]. 中国CT和MRI杂志, 2012, 10(4):21-23.
 31. Devan Lakshmi, Santosham Roy, Hariharan Ranganathan. Automated texture-based characterization of fibrosis and carcinoma using low-dose lung CT images [J]. International Journal of Imaging Systems and Technology, 2014, 24(1):39-44.
 32. National Lung Screening Trial

- Research Team, Aberle DR, Adams AM, et al. Reduced lung-cancer mortality with low-dose computed tomographic screening [J]. *N Engl J Med*, 2011, 365(5): 395-409.
33. Trattner Sigal, Pearson Gregory D N, Chin Cynthia, et al. Standardization and optimization of CT protocols to achieve low dose [J]. *Journal of the American College of Radiology*, 2014, 11(3): 271-278.
34. 王亚丽, 崔彩霞, 平江, 等. 低剂量高分辨CT扫描观察肺间质病变的可行性研究 [J]. *医学影像学杂志*, 2013, 23(3): 408-411.
35. Jaklitsch MT, Jacobson FL, Austin JH, et al. The American Association for Thoracic Surgery guidelines for lung cancer screening using low-dose computed tomography scans for lung cancer survivors and other high-risk groups [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2012, 144(1): 33-38.
36. 谢智峰, 曾庆玉, 王顺, 等. 低剂量螺旋CT在矽肺诊断中的应用 [J]. *中国医学影像学杂志*, 2012, 20(11): 828-831.
37. Biederer J, Heussel C P, Puderbach M, et al. Functional magnetic resonance imaging of the lung [J]. *Seminars in respiratory and critical care medicine*, 2014, 35(1): 74-79.
38. Eichinger Monika, Optazaite Daiva-Elzbieta, Kopp-Schneider Annette, et al. Morphologic and functional scoring of cystic fibrosis lung disease using MRI [J]. *European journal of radiology*, 2012, 81(6): 1321-1325.
39. Harders S W, Balyasnikowa S, Fischer B M. Functional imaging in lung cancer [J]. *Clinical physiology and functional imaging*, 2014, 34(5): 340-355.

(本文编辑: 黎永滨)

【收稿日期】2015-07-08

(上接第 104 页)

6. 赵喜平. 磁共振成像原理. 北京: 科学出版社, 2004: 378-385.
7. Dandan Liang, Hon Tat Hui, Tat Soon Yeo, et al. Stacked phased array coils for increasing the signal-to-noise ratio in magnetic resonance imaging. *IEEE Trans Biomed Circuits Syst*, 2013, 7(1): 24-30.
8. 黄小云, 刘惠龙. 1986-2005年中国不同胎龄胎儿头围孕周均值变化趋势 [J]. *中国妇幼保健*, 2011, 26(34): 5336-5338.
9. Kaufman L, Kramer DM, Crooks LE, et al. Measuring signal-to-noise ratios in MR imaging [J]. *Radiology*, 1989, 173(1): 265-267.
10. 王灌忠, 沈钧康, 张彩元. 信噪比在MR图像质量控制中的作用. *医学影像学杂志*, 2003, 13(11): 879-881.
11. 黄艳图, 何超明. 磁共振成像信噪比的评价方法. *磁共振成像*, 2012, 3(2): 149-152.

(本文编辑: 汪兵)

【收稿日期】2015-07-04