Journal of Radiation Industry 10(2) : 43~47(2016)

무릎 자기공명영상에 대한 정량적, 정성적 평가: 1.5 T와 3.0 T 기기 비교

구 은 회[1]

[1]청주대학교 방사선학과

Qualitative and Quantitative Assessments of Knee Magnetic Resonance Imaging: Comparison with 1.5 T and 3.0 T

Eunhoe Goo[1]

[1]*Department of Radiological Science, Cheongju University*

Abstract - This study aims to conduct an analysis in order to compare the differences in the generation of artifacts occurring due to the difference between 1.5 T and 3.0 T MRI equipment with three types of pulse sequence applied to the knee MRI. with data on 121 patients transmitted to PACS, this study qualitatively analyzed SNRs and carried out a qualitative evaluation, dividing AC, ACL and PCL into three steps. In the quantitative analysis, The SNRs of 3.0 T MRI showed a more significant result, which was higher than that measured in the 1.5 T MRI ($p < 0.05$). In the qualitative analysis, also showed similar to results when compared with 1.5 T ($p < 0.05$). In conclusion, the increased signal to noise ratio at 3.0 T resulted in a better visibility of the majority of AC, ACL, PCL structures as compared to 1.5 T equipment. This study will become the guidelines for musculoskeletal system when examining the patients in knee MRI using the two types of equipment in the clinical setting in the future.

Key words : Signal to noise ratio, Picture archiving and communication system, Magnetic resonance image, Musculoskeletal system

서 론

무릎 자기공명영상(magnetic resonance imaging, MRI)은 비 침습적인 검사방법으로 전산화단층촬영(computed tomography, CT)을 비롯하여 X-ray와 같은 전리방사선을 이용한 방사선학 검사에 비해 우수한 정보를 제공해 주는 장점을 가지고 있다(Lee *et al*. 2012). 영상의학 검사에서 비 전리방사선 검사방법으로 초음파(ultrasonography) 검사 또한 많은 진단적 소견을 제공해 주는 장점을 가지고 있으나 대학병원을 포함하여 3차 의료기관에서는 해상도가 낮아 움직임이 심한 소아나 환자 상태가 좋지 않은 환자를 제외하고는 크게 선호하지는 않는다(Nielsen *et al*. 2012). 일반적으로 무릎 질환은 걸으면 통증이 발생하거나, 물이 차는 증상이 대부분 차지하고 있는 질환으로 관절연골(articular cartilage)이 약하거나 전방, 후방 십자인대(anterior, posterior cruciate ligament)의 파열을 볼 수가 있다. 관절연골에 대한 기존 보고에 의하면 1.5 T와 3.0 T에 대한 연구에서 각각의 기기에 따라 서로 우위성 보고도 있었다(Scott *et al*. 2009). MRI는 연골 및 인대를 묘출해 주는 큰 장점을 가지고 있기 때문에 이러한 질환에서 정확한 진단을 제공해 주는 영상의학 검사로서 크게 역할을 하고 있다(Prasad *et al*. 2014). 근골격계(muscuolskeletal system)를 구성하는 관절, 근육(muscle), 지방(fat)은 조직의 이완시간(relaxation time)이 다르기 때

* Corresponding author: Eunhoe Goo, Tel. +82-10-8750-5092, Fax. +82-43-229-8969, E-mail. eunhoegoo@gmail.com

Table 1. Scan parameters for analysis of pulse sequence on 1.5 T and 3.0 T

	T2		T1		PDfs	
	1.5 T	3.0 T	1.5 T	3.0 T	1.5 T	3.0 T
TR (msec)	1955	3000	394	431	3000	3259
TE (msec)	80	70	15	10	25	20
Th./G (mm)	3/0.5	3/0.5	3/0.5	3/0.5	3/0.5	3/0.5
Matrix MP	248×248	292×292	248×248	292×292	248×248	292×292
FOV (mm)	150	150	150	150	150	150

PDfs: proton density fat saturation, TR (ms): repetition time, Th./G (mm): slice thickness/gap, Matrix MP: frequency and phase encoding matrix, FOV: field of view

문에 자기장의 세기(magnetic field)에 따라서 대조도(contrast)를 크게 좌우하게 된다. 1.5 T MRI 검사에서 십자인대에 대하여 민감도(sensitivity) 91.1%, 특이도(specificity) 82.9%로 높은 진단적 정보를 제공하였지만, 낮은 신호대 잡음비(Signal to noise ratio), 대조도대 잡음비(contrast to noise ratio)를 얻었고, 영상의 질(image quality)에 대한 개선이 필요하다는 보고가 있었다(Lee *et al*. 2010; Oldrini *et al*. 2012). 1.5 T와 3.0T 비교에서 반월상연골판(Meniscus)에 대하여 민감도와 특이도가 92.7%와 82.2% (3.0 T), 92.6%와 76.1% (1.5 T)로 유의성 있는 차이를 보이지 않았고(p=1.0, p=0.61), (Grossman *et al*. 2009), 관절연골(articular cartilage) 평가에서 민감도 60%와 특이도 96% (1.5 T), 민감도 69%와 96% (3.0T)로 민감도에서는 유의성 있는 평가를 얻었지만(p<0.05), 특이도에서는 유의성 있는 평가를 얻지 못했다(p>0.05), (Van *et al*. 2014). 앞에 보고와 같이 각 부위에 대한 민감도와 특이도가 3.0 T MRI 기기가 높지 않은 이유는 실질적으로 3.0 T MRI 기기에 대한 몇 가지 이론(theory)으로 인하여 화학적 이동 효과(chemical shift effect)와 자기감수성 효과(magnetic susceptibility effect)가 발생하여 영상의 질을 저하시키므로 영상매개변수의 조절이 필요하기 때문이다(Meyer *et al*. 2008). 따라서 본 연구에서는 기존에 3차 의료기관에서 무릎 검사 시 일반적으로 적용되는 1.5 T MRI 프로토콜(protocol)과 실험을 통하여 최적의 영상매개변수(image parameter)로 변화시킨 3.0 T MRI 프로토콜을 이용하여 영상을 획득한 후 기법에 따라 SNR (signal to noise ratio, SNR)과 영상의 질을 평가하였다.

재료 및 방법

1. 연구방법

본 연구는 PACS 네트워크로 전송된 총 121명(남자 70, 여자 51, 평균연령 48세)의 knee MRI 검사를 한 환자를 무작위로 선정하여 분석을 하였다. 분석한 모든 데이터는 1.5 T와 3.0 T (Philips, Medical system, Achieva, The Netherlands) 자기공명영상기기가 이용되었고, 수신코일(received coil)로는 knee coil (16 channel)이었다. 데이터 분석에 적용된 펄스시퀀스 영상은 knee MRI 검사 시 관절연골(articular cartilage, AC), 전십자인대(anterior cruciate ligament, ACL), 후십자인대(posterior cruciate ligament, PCL) 묘출에 필수적으로 적용되고 있는 TSE (turbo spin echo) T2, T1 sagittal, PDfs (proton density fat saturation) coronal 영상을 기본으로 분석을 하였다. 각각의 펄스시퀀스의 매개변수는 같이 적용되었다(Table 1).

2. 평가방법

모든 영상들은 DICOM (digital imaging and communications in medicine) 파일로 PACS (INFINIT Healthcare, Co., Ltd, Korea) 시스템에 전송된 데이터를 분석하였다. 데이터 분석 범위로는 Image Viewer 프로그램을 이용하여 일정한 크기의 관심 영역(region of interest)을 설정한 후 AC, ACL, PCL에 대하여 SNR (signal to noise ratio)를 적용하여 정량적 평가를 하였다(Eq. 1). 정성적 분석으로는 각각의 기법에 따른 3 영역에서 인대 및 관절 묘출 정도를 중심으로 두 기기에 대하여 영상의 질을 평가하였다.

$$SNR = \frac{Signal_{vessel}}{\sigma_{background}} \quad (1)$$

정성적 분석방법으로는 두 기기에 대하여 3단계로 구분하여 영상의 질을 평가하였다. 인대 및 관절연골의 신호 강도 및 경계 부위가 뚜렷하게 나타난 경우(excellent 3), 신호 강도는 강하나 경계 부위가 흐릿하게 나타난 경우(good 2), 신호 강도 및 경계 부위가 흐릿하게 나타난 경우(poor 1)로 평가를 하였다. 두 기기에 대한 영상의 질 평가는 임상경험 18년 이상 MRI실에 근무를 하였으며 국제 자기공명영상 전문방사선사 자격증을 취득한 자이었다.

3. 통계분석

두 기종에 대한 정량적 분석으로 SNR에 대한 통계적 유

Table 2. SNRs values for three tissues obtained with 1.5 T and 3.0 T (n = 121)

	1.5 T	3.0 T	*t*	*p*-values
T2WI (AC)	45.35 ± 4.2	48.19 ± 3.1	−5.456	0.002*
T2WI (ACL)	7.47 ± 1.2	21.11 ± 3.7	−7.675	0.000*
T2WI (PCL)	6.81 ± 1.3	11.63 ± 3.5	−4.388	0.004*
T1WI (AC†)	53.58 ± 8.2	66.58 ± 9.2	−5.379	0.008*
T1WI (ACL‡)	31.84 ± 3.8	41.59 ± 3.2	−6.343	0.005*
T1WI (PCL§)	21.92 ± 3.5	23.96 ± 3.0	−3.787	0.001*
PDfs (AC)	75.84 ± 11.3	111.51 ± 13.5	−3.778	0.000*
PDfs (ACL)	30.37 ± 2.7	48.56 ± 5.3	−6.462	0.003*
PDfs (PCL)	20.78 ± 2.8	89.68 ± 12.5	−7.328	0.000*
Means ± SD	32.66 ± 22.4	51.42 ± 32.9	−5.621	0.00256

Numbers: average values ± standard deviation.
AC†: articular cartilage, ACL‡: anterior cruciate ligament, PCL§: posterior cruciate ligament, *significant differences, $p < 0.05$

Table 3. Qualitative analysis for scoring on 1.5 T and 3.0 T in knee structures (n = 121, with score of 1 = poor, 2 = good, 3 = excellent)

	1.5 T	3.0 T	*z*	*p*-values
T2WI (AC)	2.1 ± 0.73	2.5 ± 0.70	−4.850	0.004*
T2WI (ACL)	2.2 ± 0.78	2.6 ± 0.69	−4.559	0.000*
T2WI (PCL)	2.0 ± 0.81	2.7 ± 0.67	−5.862	0.000*
T1WI (AC)	1.8 ± 0.78	2.4 ± 0.69	−3.527	0.000*
T1WI (ACL)	2.3 ± 0.82	2.8 ± 0.63	−6.390	0.000*
T1WI (PCL)	2.1 ± 0.73	2.6 ± 0.51	−5.280	0.000*
PDfs (AC)	2.0 ± 0.66	2.7 ± 0.48	−5.550	0.000*
PDfs (ACL)	2.3 ± 0.67	2.4 ± 0.51	−5.943	0.002*
PDfs (PCL)	1.9 ± 0.87	2.2 ± 0.63	−3.847	0.007*
Means ± SD	2.07 ± 0.17	2.54 ± 0.18	−5.089	0.00144

Numbers: average values ± standard deviation.
*significant differences, $p < 0.05$

의성은 독립표본 t 검정(independent sample t-test)로 계산되었으며, AC, ACL, PCL에 대한 영상의 질적 차이는 Wilcoxon signed rank test를 적용하여 유의성을 알아보았다($p < 0.05$). 본 데이터 분석에 적용된 프로그램은 PASW Statistics (release 18.0) 프로그램을 이용하여 p값이 0.05 이하일 때 유의성을 두었다.

결 과

본 데이터 분석에 적용된 121명에 대하여 PACS 전송된 TSE T2, T1 sagittal images, PDfs coronal images을 분석하였다. 두 기종에서 T2, T1. PDfs에 대한 평균 SNRs이 32.66 ± 22.4, 51.42 ± 32.9로 AC, ACL, PCL 모두 3.0 T가 높은 결과를 얻었다(Table 2, $t = -5.621$, $p = 0.00256$). 또한 정성적 분석에서도 데이터 분석에 적용된 3종류 펄스시퀀스를 3등급으로 평가를 했을 때 2.07 ± 0.17, 2.54 ± 0.18로 3.0 T가 모두 높은 점수를 얻었다(Table 3, $z = -5.089$, $p = 0.00144$). 본 데이터 분석 결과는 기존의 결과와 다르게 3.0 T가 높은 값을 얻은 이유는 3.0 T 매개변수를 고자기장의 특성에 맞게 조절한 후 데이터를 얻었기 때문이다.

Fig. 1. Comparison of two sections of the TSE T2 WI sequence obtained with 1.5 T (left) and 3.0 T (right) in the knee MRI.

Fig. 1은 TSE T2 WI 기법을 적용하여 1.5 T와 3.0 T를 비교한 영상이다. 두 영상 모두 자기감수성 인공물(magnetic susceptibility artifacts)이 발생하였지만, ACL, PCL를 모두 확인할 수가 있었다. 정성적으로 분석했을 때 1.5 T (white line circle)에 비해 3.0 T (white dot circle) 영상에서 높은 신호 강도로 나타나 인대(ligament) 부분이 잘 구분되었다. 3.0 T 기종에서는 1.5 T 기종에 비해 자기감수성 인공물이 많이 발생하지만, 깊은 조직(tissues)에서는 크게 영향을 받지 않은 결과이었다.

Fig. 2 영상 또한 TSE T2 WI 기법을 적용하여 1.5 T와 3.0

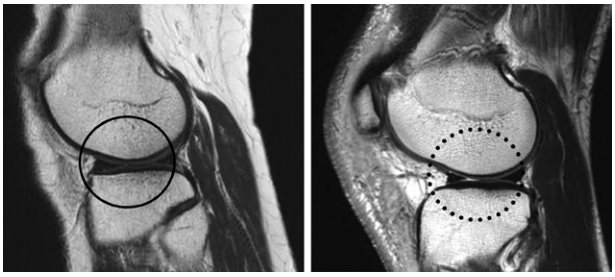

Fig. 2. Comparison of two sections of TSE T2 WI sequence obtained with 1.5 T (left) and 3.0 T (right) in the knee MRI.

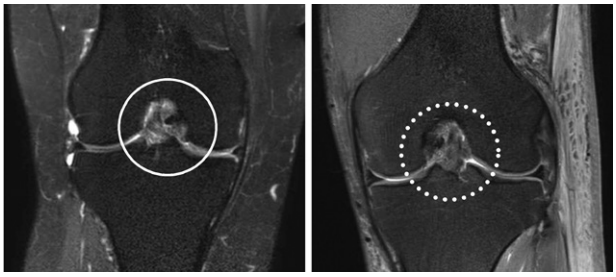

Fig. 3. Comparison of two sections of TSE PDfs sequence obtained with 1.5 T (left) and 3.0 T (right) in the knee MRI.

T를 비교한 영상이다. AC에 대한 묘출을 비교했을 때 1.5 T (black line circle)에 비해 3.0 T (black dot circle)가 신호 강도가 높았으며 관절연골 부분에서 경계면이 뚜렷하게 나타나는 것을 알 수 있었다. 그 외에 신호 강도의 균일성 면에서 3.0 T가 높은 것을 알 수 있었다. 그러나 시각적으로는 두 영상 모두 AC를 구분할 수 있었다.

Fig. 3은 PDfs 기법을 적용하여 1.5 T와 3.0 T를 분석한 영상이다. 1.5 T 영상에 비해 3.0 T 영상에서 흔들림 (blurring) 없이 지방 소거가 잘 된 것을 알 수 있었다. 1.5 T 영상에서 자기감수성 인공물을 비롯하여 영상의 신호 강도가 균일하지 않은 것을 알 수 있었다. 특히 ACL, PCL 부분에서 흔들림이 강하게 나타났다. 그러나 3.0 T 영상에서는 자기감수성 인공물이 적었으며 표면상 조직에서 신호 강도가 균일하게 나타났으며 AC, ACL, PCL 부분의 경계가 뚜렷하게 보였다.

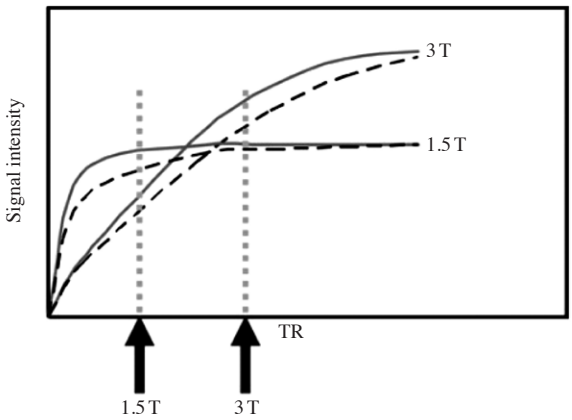

Fig. 4. Signal intensity - time curves on 1.5 T and 3.0 T (Chang *et al*. 2008).

고 찰

본 데이터 분석은 knee MRI 검사 시 1.5 T와 3.0 T 기기를 이용했을 때 영상에서 나타나는 특징을 알 수 있었다. 분석에서 큰 차이점이 있다면 SNR 값의 차이가 뚜렷하게 3.0 T가 높게 나타난다. SNR 값은 $\sqrt{NEX}$에 비례하여 증가하지만, 가장 큰 차이점은 외부자기장 (B_0)에 직접적으로 비례하여 증가하게 된다. 따라서 고자기장일수록 SNR 값은 증가하여 영상의 질을 높이게 된다. 고자기장의 특징으로 자기장의 비균질성 (inhomogeneities)과 자기감수성으로 인하여 실제 측정되는 값보다 SNR 값이 떨어져 측정되는 경우가 있지만, 상대적으로 높은 공간분해능을 비롯하여 해상도를 증가시키는 요인이 되기도 한다 (Jung *et al*. 2013). Knee MRI 검사 시 인대 및 관절연골 주변에 발생되는 인공물로는 자기감수성 인공물이 가장 많이 발생하게 된다. 본 데이터 분석에 적용된 Figure 영상은 기종에 따라 정도의 차이는 있지만 모두 자기감수성인공물이 발생한 영상이었다. 자기감수성 인공물은 자기장이 높을수록 신호감소 효과가 증가되는 현상이 발생하게 된다 (Chang *et al*. 2008). 일반적으로 물 (water) 성분이 많이 포함한 T2 이완시간 (relaxation time)이 긴 조직에서 주로 발생하게 되는데 이를 방지하기 위해서는 짧은 신호 수집 시간 (echo time, TE)을 이용하여 방지할 수 있다. 데이터 분석에 적용된 MRI 기기는 Table 1에서 보았듯이 모두 1.5 T에 비해 3.0 T MRI가 TE 값이 작게 설정된 것을 알 수 있다. 그 외에 대역폭 (bandwidth)도 반비례 관계가 있기 때문에 가능한 높게 설정해야 될 것이다 (Eq. 2).

$$\text{Susceptibility artifact size} = \frac{(\Delta\text{Susceptibility}) \times B_0 \times \text{Te}}{\text{Band width}} \quad (2)$$

고자기장의 특징 중 또 다른 하나는 T1 이완시간이 증가한다는 것이다. 인체조직이 가지고 있는 고유의 세차주파수와 고자기장이 세차주파수가 일치하지 않아 종축으로 회복되는 시간이 길어지기 때문에 대조도가 떨어질 수가 있다. 액체 성분이 많이 포함되어 있는 복부나 골반에 대한 대부분 조직에서 T1 이완시간은 1.5 T보다 3.0 T가 약 20~40% 길어진다 (de Bazelaire *et al*. 2004). 따라서 대조도를 증가시키는 방법으로 RF 인가시간 (repetition time, TR)을 길게 하여 조직의 대조도 차를 크게 할 수 있다. 본 연구의 분석에

서도 관절연골 부위에 액체 성분이 많이 포함되어 있기 때문에 이러한 근거를 토대로 매개변수를 설정하여 TR 값이 모두 1.5 T에 비해 3.0 T가 길게 되어 있다. Fig. 4 영상은 T1 이완시간에 다른 신호 강도 곡선을 보여주고 있다. 실선(dashed curve)은 종양조직에 대한 조직이완시간을 신호 강도에 따라 보여주고 있고, 점선(solid curves)은 정상조직에 대한 이완시간을 TR과 신호 강도를 보여주고 있다.

또한 관절연골 및 인대 부분은 깊고 작은 구조의 조직이기 때문에 matrix에 크게 영향을 갖는다. 이러한 점을 해결하기 위하여 matrix size (1.5 T: 248×248, 3.0 T: 292×292)를 T2, T1, PDfs에 대하여 1.5 T보다 높게 설정하여 높은 해상도 영상을 얻었다. 본 데이터 분석에서 두 기법 모두 검사시간을 단축하고 SNR, 해상도를 높일 수 있는 parallel 영상기법으로 SENSE (sensitive encoding)를 이용하였다. 영상분석에 있어서 제한점이 있다면, 다양한 질환별 분석이 이루어지 않았지만 향후 후속연구로서 진행할 것이다.

결 론

결론적으로, knee MRI 검사 시 필수적으로 적용되는 T2, T1, PDfs 기법은 자기장의 특성에 따라 영상의 질에 차이가 발생하였다. 기존 보고에서 인체의 깊은 위치에 있는 관절연골, 인대에서 1.5 T가 우위의 평가를 얻었지만, 본 데이터 분석에서 3.0 T 설치 시 고자기장에 대한 특성을 이해하고 그에 따른 매개변수를 조정하여 1.5 T에 비해 3.0 T knee MRI가 높은 SNR과 정성적 분석에서 유의성 있는 평가를 얻고 AC 및 ACL, PCL이 잘 묘출되었다. 향후 이러한 분석정보를 기반으로 근골격계 검사를 시행할 때 3.0 T 자기장을 적용함으로서 임상에서 유용성 있는 정보를 환자에게 제공하기를 기대한다.

참 고 문 헌

Chang KJ, Kamel IR, Macura KJ and Bluemke DA. 2008. 3.0-T MR imaging of the abdomen: comparison with 1.5T. *Radiographics* **28**(7):1983-1998.

de Bazelaire CM, Duhamel GD, Rofsky NM and Alsop DC. 2004. MR imaging relaxation times of abdominal and pelvic tissues measured in vivo at 3.0 T: preliminary results. *Radiology* **230**(3):652-659.

Grossman JW, De Smet AA and Shinki K. 2009. Comparison of the accuracy rates of 3-T and 1.5-T MRI of the knee in the diagnosis of meniscal tear. *AJR* **193**(2):509-514.

Jung JY, Yoon YC, Kim HR, Choe BK and Wang JH. 2013. Knee derangements: comparison of isotropic 3D fast spin-echo, isotropic 3D balanced fast field-echo, and conventional 2D fast spin-echo MR imaging. *Radiology* **268**(3): 802-813.

Laurell L, Court-Payen M, Nielsen S, Zak M, Boesen M and Fasth A. 2012. Comparison of ultrasonography with Doppler and MRI for assessment of disease activity in juvenile idiopathic arthritis: a pilot study. *Pediatr. Rheumatol. Online J*. **10**(1):23-25.

Lee PP, Chalian M, Carrino JA, Eng J and Chhabra A. 2012. Multimodality correlations of patellar height measurement on X-ray, CT, and MRI. *Skeletal Radiol*. **41**(10):1309-1314.

Lee SY, Jee WH, Kim SK, Koh IJ and Kim JM. 2010. Differentiation between grade 3 and grade 4 articular cartilage defects of the knee: fat-suppressed proton density-weighted versus fat-suppressed three-dimensional gradient-echo MRI. *Acta Radiol*. **51**(4):455-461.

Meyer JS and Jaramillo D. 2008. Musculoskeletal MR imaging at 3 T. *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am*. **16**(3):533-545.

Oldrini G, Teixeira PG, Chanson A, Erpelding ML, Osemont B, Louis M and Blum A. 2012. MRI appearance of the distal insertion of the anterior cruciate ligament of the knee: an additional criterion for ligament ruptures. *Skeletal Radiol*. **41**(9):1111-1120.

Prasad A, Brar R and Rana S. 2014. MRI imaging of displaced meniscal tears: Report of a case highlighting new potential pitfalls of the MRI signs. *Indian J. Radiol. Imaging* **24**(3): 291-296.

Scott W, Lynne S, Jian Z, Christoph S, Benjamin MC and Thomas ML. 2009. Comparitive study of imaging at 3.0 T versus 1.5 T of the knee. *Skeletal Radiol*. **38**(8):761-769.

Van Dyck P, Kenis C, Vanhoenacker FM, Lambrecht V, Wouters K, Gielen JL, Dossche L and Parizel PM. 2014. Comparison of 1.5- and 3-T MR imaging for evaluating the articular cartilage of the knee. *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc*. **22**(6):1376-1384.

Received: 26 March 2016
Revised: 20 May 2016
Revision accepted: 30 May 2016