

## 3.0T 前列腺体素内不相干运动 DWI 的 b 值优化研究

曹梦姣, 赵文露, 魏超刚, 王君鑫, 温茹, 武江芬, 曹鹏, 沈钧康

**【摘要】 目的:**通过比较前列腺癌区与非癌区不同 b 值组合下体素内不相干运动 DWI (IVIM-DWI) 的扫描时间和相关定量参数, 筛选前列腺 IVIM-DWI 的最佳 b 值组合。**方法:**回顾性分析行前列腺常规 MRI 和 IVIM-DWI 扫描并经病理证实的 47 例前列腺疾病患者的病例资料, 其中前列腺癌 23 例, 良性前列腺增生 24 例。IVIM-DWI 检查采用 8 个 b 值 (0、10、20、50、100、200、500、1000 s/mm<sup>2</sup>), 设置 4 组不同的 b 值组合, A 组: b 值分别为 0、10、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>; B 组: b 值分别为 0、10、50、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>; C 组: b 值分别为 0、10、20、50、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>; D 组: b 值分别为 0、10、20、50、100、200、500、1000 s/mm<sup>2</sup>。在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区分别设置 ROI, 测量各组的 IVIM-DWI 定量参数 (D 值、f 值和 D\* 值)。采用方差分析比较各组前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区测得的各定量参数间的差异。**结果:**四组前列腺癌区的 D 值均低于非癌区, 差异均有统计学意义 (P 值均 < 0.05), 且移行带非癌区 D 值低于外周带非癌区, 差异均有统计学意义 (P 值均 < 0.05)。四组的 f 值和 D\* 值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区间的差异均无统计学意义 (P 值均 > 0.05)。A 组的扫描时间最短 (为 3 分 18 秒), 较 D 组 (5 分 42 秒) 减少了 42%。**结论:**A 组设置的 b 值数量最少 (5 个), 扫描时间最短, 推荐在临床 3.0T 前列腺 IVIM-DWI 扫描中使用; 在各组测得的 IVIM 定量参数中, 仅 D 值可用于前列腺癌区与非癌区的诊断和鉴别诊断。

**【关键词】** 前列腺癌; 体素内不相干运动成像; b 值优化; 磁共振成像

**【中图分类号】** R737.25; R445.2 **【文献标识码】** A **【文章编号】** 1000-0313(2018)09-0931-04

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2018.09.011

开放科学 (资源服务) 标识码 (OSID):



**Study of b-value optimization of intravoxel incoherent motion DWI in prostate gland** CAO Meng-jiao, Zhao Wen-lu, Wei Chao-gang, et al. Department of Radiology, the Second Affiliated Hospital of Soochow University, Jiangsu 215004, China

**【Abstract】 Objective:** To obtain the optimal b-value set for intravoxel incoherent motion (IVIM) diffusion-weighted imaging (DWI) by comparing the scanning time and relevant quantitative parameters of IVIM-DWI with different b-value sets in prostate cancerous area and non-cancerous area of prostate gland. **Methods:** The clinical materials of 47 patients with pathology proven prostate diseases were retrospectively analyzed, with 23 cases of prostate cancer and 24 cases of prostatic hyperplasia. Routine MRI and IVIM-DWI were performed. Eight b-values (0, 10, 20, 50, 100, 200, 500 and 1000s/mm<sup>2</sup>) were used for IVIM-DWI, which were divided into 4 subgroups including Group A: 0, 10, 100, 200 and 1000s/mm<sup>2</sup>; Group B: 0, 10, 50, 100, 200 and 1000s/mm<sup>2</sup>; Group C: 0, 10, 20, 50, 100, 200 and 1000s/mm<sup>2</sup>; and Group D: 0, 10, 20, 50, 100, 200, 500 and 1000s/mm<sup>2</sup>. ROIs were set in prostate cancerous areas, non-cancerous areas of transitional zone and non-cancerous areas of peripheral zone, respectively; and quantitative parameters (D value, f value and D\* value) of IVIM-DWI in each group were measured. Parameters of prostate cancerous areas, non-cancerous areas of transitional zone and non-cancerous areas of peripheral zone were evaluated with variance analysis. **Results:** Of the 4 subgroups, the D value in cancerous area was lower than that in non-cancerous area, with statistically significant difference (all P < 0.05). D value in non-cancerous areas of transitional zone was less than that

作者单位: 215004 江苏, 苏州大学附属第二医院影像科/苏州大学放射肿瘤治疗学研究所 (曹梦姣、赵文露、魏超刚、沈钧康); 214123 无锡, 无锡市人民医院放射科 (曹梦姣); 271199 莱芜, 莱芜市人民医院 (王君鑫); 450000 郑州, 阜外华中心血管病医院 (温茹); 通用电气医疗集团生命科学部 (武江芬、曹鹏)

作者简介: 曹梦姣 (1990-), 女, 江苏无锡人, 硕士, 住院医师, 主要从事盆腔 MRI 诊断工作。

通讯作者: 沈钧康, E-mail: sdfeyjsk@163.com

基金项目: 苏州市科技计划项目 (民生科技 SS201534); 苏州大学附属第二医院优势临床学科群 (XKQ2015009; XKQ2015007)

in non-cancerous areas of peripheral zone, with statistically significant (all  $P < 0.05$ ). For  $f$  and  $D^*$  of all 4 subgroups, there was no significant difference among cancerous area, non-cancerous area of transitional zone and non-cancerous area of peripheral zone (all  $P > 0.05$ ). **Conclusion:** Subgroup A was recommended to be used in prostate IVIM-DWI scanning on 3.0T MR with the minimal b-value set and the shortest scanning time. Among the quantitative parameters of IVIM measured in each group, only D value can be used for the diagnosis and differential diagnosis of prostate cancerous areas and non-cancerous areas.

**【Key words】** Prostate cancer; Intravoxel incoherent motion; Optimize b-value; Magnetic resonance imaging

前列腺癌(prostate cancer, PCa)是男性泌尿系统常见的恶性肿瘤之一。世界范围内,PCa的发病率在男性所有恶性肿瘤中位居第二位<sup>[1]</sup>,在中国等亚洲国家,伴随人口总数增长、人口老龄化和人们生活习惯的改变,其发病率逐年上升<sup>[2]</sup>。

体素内不相干运动(intravoxel incoherent motion, IVIM)成像由 Le Bihan 等<sup>[3]</sup>于 20 世纪 80 年代首次提出,基于对磁共振图像体素中水分子的微观运动反映的真实性。以往研究表明 IVIM-DWI 参数较单指数模型 DWI 所得 ADC 值能提高鉴别良、恶性组织的准确性<sup>[4]</sup>。在活体生物组织中,这些运动包括水分子的真性扩散及微循环灌注形成的假性扩散<sup>[3,5]</sup>。

IVIM-DWI 基于双指数模型,在施加足够不同 b 值进行 DWI 采样时,采用最小二乘法求解,试图避开血液灌注及组织内单纯水分子运动的影响,获得微循环灌注信息<sup>[6]</sup>,计算出扩散系数 D(纯水分子扩散效应)、灌注分数  $f$ (微循环所致的灌注效应占总体扩散效应的容积比率)和伪扩散系数  $D^*$ (微灌注所致的扩散效应)。然而在临床常规多参数磁共振成像(multiparametric MRI, Mp-MRI)检查中, b 值是影响扩散效应的一个重要因素, b 值越高,扩散效应越明显,目前就前列腺 DWI 的 b 值设置尚未达成共识<sup>[7]</sup>。多 b 值 IVIM 序列扫描需延长扫描时间,在临床常规应用中受到了限制,因此优选出一组扫描耗时相对较短,同时又满足临床诊断要求的 b 值组合尤为重要。本研究旨在对前列腺 IVIM-DWI 检查的不同 b 值组合进行分析,以期获得既能缩短扫描时间,又能保持 IVIM-DWI 定量参数诊断价值的 b 值组合。

## 材料与方法

搜集本院 2015 年 2 月—2015 年 11 月间行前列腺常规 MRI 和 IVIM-DWI 扫描并经穿刺病理证实的 47 例前列腺疾病患者,其中前列腺癌 23 例,良性前列腺增生 24 例,患者年龄 62~81 岁,平均(64.24 ± 3.63)岁。

病例纳入标准:①具有完整的临床资料及 IVIM-

DWI 扫描图像,扫描参数保持一致;②均经直肠超声引导下前列腺系统穿刺活检证实为前列腺癌或良性前列腺增生;③MRI 检查前(间隔 6 周以上)未进行前列腺穿刺活检和相关治疗;均在 MRI 检查后 4 周内获得穿刺病理结果。

采用 Philips Ingenia 3.0T 扫描仪行前列腺 MRI 检查,接收线圈为 32 通道腹部相控阵线圈,行常规 MRI 和 IVIM-DWI 检查。IVIM-DWI 扫描参数:TR 6000 ms, TE 77 ms, 视野 260 mm × 260 mm。设置四组不同的 b 值组合,分别为:①b 值分别取 0、10、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>(A 组),扫描时间为 3 min 18 s;②b 值分别取 0、10、50、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>(B 组),扫描时间为 3 min 54 s;③b 值分别取 0、10、20、50、100、200、1000 s/mm<sup>2</sup>(C 组),扫描时间为 4 min 30 s;④b 值分别取 0、10、20、50、100、200、500、1000 s/mm<sup>2</sup>(D 组),扫描时间为 5 min 42 s。

将得到的 IVIM-DWI 原始数据导入后处理软件 Firevoxel,根据穿刺病理结果,在前列腺癌患者所获 IVIM 图像上的前列腺癌区横断面面积最大层面设置 3 处兴趣区(ROI),在前列腺增生患者所获 IVIM 图像上的横断面面积最大层面,分别在移行带非癌区和外周带非癌区设置 3 处 ROI,勾画 ROI 时尽量避开尿道、出血、结石、血管等区域,且 ROI 大小尽量保持一致。同一病例四组不同 b 值 IVIM 图像上的 ROI 设置位于同一层面同一位置。分别应用 IVIM 模型对四组 b 值所得图像进行后处理,在前列腺癌区、移行带非癌区和外周带非癌区测量得到相应的 D 值、 $f$  值和  $D^*$  值,取 3 处 ROI 测量的平均值作为最终的各定量参数值(图 1)。

采用 SPSS 21.0 统计软件进行统计学分析。采用方差分析比较前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区三者间四组不同 b 值测得的 D 值、 $f$  值、 $D^*$  值差异是否具有统计学意义;如该参数值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区之间差异有统计学意义,则继续采用 LSD- $t$  检验进行两两比较。以  $P < 0.05$  为差异有统计学意义。

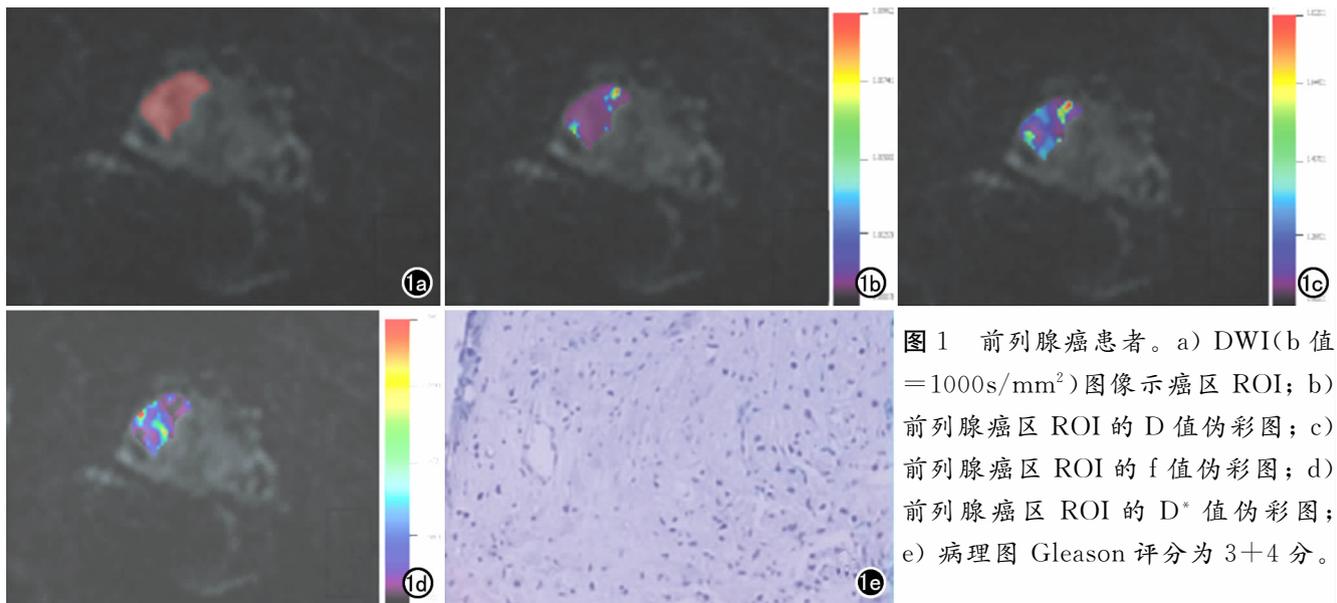


图1 前列腺癌患者。a) DWI(b值=1000s/mm<sup>2</sup>)图像示癌区ROI; b) 前列腺癌区ROI的D值伪彩图; c) 前列腺癌区ROI的f值伪彩图; d) 前列腺癌区ROI的D\*值伪彩图; e) 病理图 Gleason评分为3+4分。

## 结果

### 1. 病理结果

47例患者中前列腺癌23例,良性前列腺增生24例,前列腺癌区共23个,移行带非癌区共21个,外周带非癌区共17个。

2. 四组IVIM-DWI各参数在癌区与非癌区之间的差异性分析结果

四组IVIM-DWI测得的D值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ );而四组IVIM-DWI测得的f值、D\*值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区之间差异均无统计学意义( $P$ 值均 $> 0.05$ ,表1)。

3. 四组IVIM-DWI测得的D值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区之间的两两比较结果

四组IVIM-DWI测得的D值在前列腺癌区与移行带非癌区之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),且移

行带非癌区高于前列腺癌区;D值在前列腺癌区与外周带非癌区之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),从均值差来看,外周带非癌区对应的D值高于前列腺癌区;D值在移行带非癌区与外周带非癌区之间差异有统计学意义( $P < 0.05$ ),从均值差来看,外周带非癌区对应的D值高于移行带非癌区(表2)。

表2 四组IVIM-DWI测得的D值在不同区域间的均值差

组别	前列腺癌区与移行带非癌区	前列腺癌区与外周带非癌区	移行带非癌区与外周带非癌区
A组	-0.68*	-1.12*	-0.44*
B组	-0.68*	-1.17*	-0.49*
C组	-0.70*	-1.12*	-0.43*
D组	-0.66*	-1.14*	-0.48*

注:\*  $P < 0.05$ 。

## 讨论

### 1. 前列腺IVIM-DWI的b值选择

Pang等<sup>[8]</sup>在前列腺IVIM-DWI研究时采用了5个b值(0、188、375、563和750 s/mm<sup>2</sup>)的不同组合,

表1 四组IVIM-DWI测得的D、f和D\*值在癌区与非癌区之间的差异性结果

参数	前列腺癌区	移行带非癌区	外周带非癌区	F值	P值
<b>A组</b>					
D值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	0.67 $\pm$ 0.11	1.35 $\pm$ 0.16	1.79 $\pm$ 0.29	175.36	0.00
f值(%)	26.95 $\pm$ 4.75	27.79 $\pm$ 3.47	25.19 $\pm$ 4.30	1.82	0.17
D*值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	12.88 $\pm$ 4.93	15.60 $\pm$ 2.82	13.47 $\pm$ 4.84	2.37	0.10
<b>B组</b>					
D值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	0.68 $\pm$ 0.14	1.36 $\pm$ 0.17	1.85 $\pm$ 0.29	178.37	0.00
f值(%)	26.45 $\pm$ 4.73	27.30 $\pm$ 4.06	23.90 $\pm$ 3.54	1.77	0.05
D*值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	13.10 $\pm$ 4.44	15.41 $\pm$ 3.46	12.22 $\pm$ 4.61	3.05	0.55
<b>C组</b>					
D值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	0.68 $\pm$ 0.12	1.38 $\pm$ 0.16	1.80 $\pm$ 0.31	156.25	0.00
f值(%)	25.59 $\pm$ 4.84	26.78 $\pm$ 3.86	23.98 $\pm$ 5.20	1.71	0.19
D*值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	13.75 $\pm$ 5.08	15.55 $\pm$ 2.82	13.55 $\pm$ 5.27	1.22	0.30
<b>D组</b>					
D值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	0.67 $\pm$ 0.13	1.33 $\pm$ 0.16	1.81 $\pm$ 0.35	134.39	0.00
f值(%)	28.58 $\pm$ 5.93	28.20 $\pm$ 3.16	28.00 $\pm$ 6.93	0.06	0.94
D*值( $\times 10^{-3}$ mm <sup>2</sup> /s)	12.43 $\pm$ 5.55	14.38 $\pm$ 3.15	11.41 $\pm$ 5.64	1.84	0.17

评价各 b 值组合所测参数值在前列腺 Mp-MRI 中的应用价值, 研究结果表明 IVIM 各参数值可因 b 值不同而发生相应变化。

本研究对 8 个 b 值(0、10、20、50、100、200、500、1000 s/mm<sup>2</sup>)分成四组行前列腺 IVIM-DWI 扫描所获的 IVIM 参数中, f 值和 D\* 值在前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区间的差异均无统计学意义(P>0.05), f 值在以往文献中稍有争议, Döpfert 等<sup>[9]</sup>所测得的前列腺癌区 f 值明显低于非癌区(P<0.05), 而 Shinmoto<sup>[10]</sup>等则认为 f 值在前列腺癌区与良性增生区间差异无统计学意义(P>0.05)。本研究结果显示 D 值在前列腺癌区与移行带非癌区、前列腺癌区与外周带非癌区、移行带非癌区与外周带非癌区间差异均有统计学意义(P<0.05), 这与以往文献的研究结果相符<sup>[8,10,11]</sup>, 其原因是肿瘤组织内细胞密度较大、细胞排列紊乱、细胞核质比及细胞间质成分减少等因素限制了组织内水分子的扩散运动, 即水分子的真性扩散明显受限, 导致代表单纯水分子扩散的 D 值降低, 其降低程度大于非癌组织。本研究中四组 IVIM-DWI 扫描所测得的移行带非癌区的 D 值均低于外周带非癌区, 且两者间差异具有统计学意义(P<0.05), 究其原因可能为本组研究的纳入对象均为 60 岁以上男性, 移行带存在不同程度的良性增生, 增生区细胞特别是基质及纤维成分增加, 局部增生组织致密, 水分子的真性扩散相应受限, 使得代表单纯水分子扩散的 D 值降低, 而外周带非癌区的腺体组织富含水分, 水分子的真性扩散并未受到限制, 故而导致两者间的 D 值产生差异。

本研究结果表明采用的四种 b 值组合进行前列腺 IVIM-DWI 扫描所测得的 D 值均可作为评价指标, 为前列腺癌组织、移行带非癌组织、外周带非癌组织间的鉴别诊断提供量化评价依据。以往的前列腺 IVIM-DWI 研究中, b 值的数量在 5~10 个之间<sup>[8,10]</sup>, 但较多的 b 值需要较长的采集时间, 影响临床工作效率。本研究中 A 组的 b 值数量为 5 个(0、10、100、200、1000s/mm<sup>2</sup>), 可达到鉴别诊断前列腺癌区、移行带非癌区、外周带非癌区的要求, 且扫描时间最短, 为 3 分 18 秒, 较 D 组的图像采集时间(5 分 42 秒)减少了 42%, 建议在临床前列腺 IVIM-DWI 扫描中使用。

本研究结果显示, f 值和 D\* 值在前列腺癌区、移行带和外周带非癌区间的差异均无统计学意义(P>0.05), 不能作为前列腺癌组织与非癌组织的鉴别诊断指标。这可能与 f 值、D\* 值测量的可重复性差有关<sup>[12]</sup>, 也可能由于 f 值和 D\* 值为灌注相关参数, 对管道结构内液体的流动及腺体分泌较敏感<sup>[10]</sup>。

## 2. 本研究的不足和展望

本研究的不足之处: ①纳入患者均经穿刺活检病理证实, 前列腺尖部病变和早期侵袭性低的微小癌灶易被漏穿, 可导致病理结果的假阴性; ②未行前列腺大切片与其 MRI 图像的对照研究, 仅以穿刺病理结果作为最终诊断, 而穿刺活检病理与 MRI 图像间的匹配难以达到理想的拟合度; ③由于扫描时间和后处理软件的限制, 所选 b 值数量受到一定的限制。由于目前 IVIM-DWI 技术在前列腺疾病诊断中的应用尚不成熟, 缺乏公认的 b 值组合设置标准和统一的 IVIM-DWI 后处理软件, 笔者在今后的工作中将针对上述不足完善设计, 增大样本量, 作进一步的深入研究。

## 参考文献:

- [1] Jemal A, Bray F, Center MM, et al. Global cancer statistics[J]. CA Cancer J Clin, 2011, 61(2): 69-90.
- [2] Parkin DM, Bray F, Ferlay J, et al. Global cancer statistics, 2002[J]. CA Cancer J Clin, 2005, 55(2): 74-108.
- [3] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. MR imaging of intravoxel incoherent motions: application to diffusion and perfusion in neurologic disorders[J]. Radiology, 1986, 161(2): 401-407.
- [4] Bokacheva L, Kaplan JB, Giri DD, et al. Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted MRI at 3.0T differentiates malignant breast lesions from benign lesions and breast parenchyma[J]. J Magn Reson Imaging, 2014, 40(4): 813-823.
- [5] Le Bihan D, Breton E, Lallemand D, et al. Separation of diffusion and perfusion in intravoxel incoherent motion MR imaging[J]. Radiology, 1988, 168(2): 497-505.
- [6] 覃涛, 邢芬, 吴光耀. IVIM 扩散加权成像在前列腺癌中的应用研究[J]. 放射学实践, 2015, 30(7): 790-792.
- [7] Vargas HA, Lawrence EM, Mazaheri Y, et al. Updates in advanced diffusion-weighted magnetic resonance imaging techniques in the evaluation of prostate cancer[J]. World J Radiol, 2015, 7(8): 184-188.
- [8] Pang Y, Turkbey B, Bernardo M, et al. Intravoxel incoherent motion (IVIM) MRI imaging for prostate cancer: an evaluation of perfusion fraction and diffusion coefficient derived from different b-value combinations[J]. Magn Reson Med, 2013, 69(2): 553-562.
- [9] Döpfert J, Lemke A, Weidner A, et al. Investigation of prostate cancer using diffusion-weighted intravoxel incoherent motion imaging[J]. Magn Reson Imaging, 2011, 29(8): 1053-1058.
- [10] Shinmoto H, Tamura C, Soga S, et al. An intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging study of prostate cancer[J]. AJR, 2012, 199(4): 496-500.
- [11] Mannelli L, Nougaret S, Vargas HA, et al. Advances in diffusion-weighted imaging[J]. Radiol Clin North Am, 2015, 53(3): 569-581.
- [12] Koh DM, Blackledge M, Collins DJ, et al. Reproducibility and changes in the apparent diffusion coefficients of solid tumours treated with combretastatin A4 phosphate and bevacizumab in two-centre phase I clinical trial[J]. Eur Radiol, 2009, 19(11): 2728-2738.