

TIAGO ROCHA DIAS

**CURVA DE APRENDIZADO DE RESIDENTES EM
RADIOLOGIA DURANTE O TREINAMENTO EM
PUNÇÃO DE ARTICULAÇÕES FACETÁRIAS GUIADA
POR FLUOROSCOPIA USANDO UM SIMULADOR**

Tese apresentada à Universidade Federal
de São Paulo, para obtenção do Título de
Doutor em Ciências

Orientador: Prof. Dr. Nitamar Abdala

SÃO PAULO

2016

Dias, Tiago Rocha

Curva de aprendizado de residentes em radiologia durante o treinamento em punção de articulações facetárias guiada por fluoroscopia usando um simulador/ Tiago Rocha Dias. – São Paulo, 2016.

vi, 33f.

Tese (Doutorado) – Universidade Federal de São Paulo. Escola Paulista de Medicina. Programa de Pós-graduação em Radiologia Clínica e Ciência Radiológica.

Título em Inglês: Learning curve of radiology residents during training in fluoroscopy-guided facet joint injections using a simulator.

1. Punção de articulação facetária 2. Articulação facetária 3. Modelo anatômico 4. Simulador 5. Radiologia intervencionista

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
ESCOLA PAULISTA DE MEDICINA
DEPARTAMENTO DE DIAGNÓSTICO POR IMAGEM

Chefe do Departamento: Prof. Dr. Nitamar Abdala

Coordenador do Curso de Pós-graduação: Profa. Dra. Suzan Menasce Goldman

À minha esposa Lia, pelo
companheirismo, paciência e apoio.
Aos meus pais José Armando e
Tereza, por tornarem toda a minha
formação possível.
Ao meu filho Leonardo, por fazer
tudo valer a pena.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Nitamar Abdala, pela orientação neste trabalho e por todo o apoio durante os anos de residência e pós-graduação.

Ao Dr. João de Deus da Costa Alves Junior, por toda a ajuda na realização dos procedimentos.

À Sra. Andrea Puchnick Scaciota, pela ajuda na elaboração de gráficos e apresentações.

À Sra. Celia Virginia Garcia de Oliveira por toda a atenção ao longo dos anos de residência e pós-graduação.

Aos Drs. Luis Antonio Tobaru Tibana, Marcos Hideki Idagawa, Ernesto Alves e ao Prof. Dr. Henrique Carrete Junior pelos ensinamentos em neurorradiologia.

Aos colegas de pós-graduação e residência Gustavo Balthazar da Silveira Carvalho e Gabriel Barbosa Sandim, pela amizade e apoio.

A todos os professores e colaboradores do Departamento de Diagnóstico por Imagem da UNIFESP pelos ensinamentos em Radiologia.

Aos residentes do Departamento de Diagnóstico por Imagem da UNIFESP, pelos anos de amizade e convivência.

SUMÁRIO

Dedicatória.....	iv
Agradecimentos.....	v
1 Apresentação.....	1
Artigo.....	8
2 Considerações finais.....	28
3 Anexos.....	29
4 Referências.....	31

1 APRESENTAÇÃO

Lombalgia e Punção Interapofisária

A lombalgia é um problema de saúde pública que acomete milhões de pessoas em todo o mundo. Devido a sua alta prevalência e consequências nos serviços de saúde, a origem anatômica da lombalgia é alvo de grande interesse de pesquisadores e clínicos [1]. As doenças das articulações facetárias, também chamadas de interapofisárias ou zigoapofisárias, são responsáveis por uma parcela significativa destes casos, com prevalência estimada entre 15% e 52% na literatura [2-5].

As articulações facetárias são as únicas articulações sinoviais da coluna vertebral. Apresentam cartilagem hialina revestindo o osso subcondral, e possuem membrana sinovial e cápsula articular. Devido a apresentarem alto grau de mobilidade e estarem submetidas a grandes forças, especialmente na coluna lombar, elas podem desenvolver importantes alterações degenerativas e são uma causa potencial de dor e limitação funcional [6, 7].

O quadro clínico classicamente descrito nos pacientes acometidos é o da chamada síndrome facetária, caracterizada por lombalgia que é mais intensa pela manhã, que piora com repouso e hiperextensão e melhora com a movimentação repetida, associada a rigidez da musculatura paravertebral, tipicamente sem irradiação inferiormente aos joelhos, e sem déficits neurológicos [7-9]. Quando há dor ciática ou déficits neurológicos, anormalidades associadas costumam estar presentes, especialmente cistos sinoviais. [6, 7].

Apesar das peculiaridades descritas da síndrome facetária, a diferenciação entre esse tipo de dor da lombalgia decorrente de outras

causas é muitas vezes difícil de ser realizada apenas em termos clínicos [10] e o valor diagnóstico da síndrome facetária é contestado na literatura [2, 11].

Atualmente, muitas modalidades de métodos de diagnóstico por imagem estão disponíveis para avaliação das lombalgias e das artropatias facetárias, tais como radiografia, tomográfica computadorizada, ressonância magnética e exames de medicina nuclear [2, 6, 12, 13]. Apesar disto, os achados de imagem não têm demonstrado bom valor preditivo na identificação da estrutura espinhal específica responsável pela causa da dor. Também não há boa correlação entre as alterações vistas nos exames de imagem e a sintomatologia dos pacientes. [4, 7, 10, 11, 14].

Quando a lombalgia não melhora com o tratamento conservador e os achados clínico-radiológicos não são capazes de identificar com clareza a causa da dor, pode-se recorrer a métodos intervencionistas para fins diagnósticos. Este tipo de procedimento também é utilizado com função terapêutica, quando o diagnóstico já foi selado por outras modalidades. [4, 7, 10, 15-19].

No caso específico da articulação facetária, pode-se fazer tanto a anestesia intra-articular quanto o bloqueio do ramo medial do ramo dorsal no nervo espinhal correspondente [4, 20].

Na anestesia intra-articular, a articulação facetária é puncionada e faz-se a injeção de solução anestésica e de corticoide de longa duração. Usualmente realiza-se infiltração de mais de um nível, devido às peculiaridades da inervação destas articulações. Cada articulação interapofisária recebe inervação através do ramo medial do ramo dorsal do nervo espinhal ipsilateral de seu nível, e também ramos sensoriais do nível superior. Desta forma, a dor facetária não é específica para um determinado nível da coluna vertebral. Quando há melhora significativa

após a injeção, assume-se que as articulações facetárias injetadas são, pelo menos parcialmente, responsáveis pela sintomatologia do paciente. [4, 10, 17, 20].

A punção articular facetária é comumente realizada de forma guiada por fluoroscopia, tomografia computadorizada, ultrassonografia ou ressonância magnética [7, 10, 14, 15, 21-23]. A escolha entre estes diferentes métodos dependerá da disponibilidade e também da preferência e experiência do médico intervencionista. A fluoroscopia é um método com boa disponibilidade, amplamente utilizado para este fim, que possui a vantagem de ter um curto tempo de procedimento [7, 14].

A técnica tradicional consiste em posicionar o paciente em decúbito ventral e em seguida rodá-lo, elevando o seu lado afetado até que se obtenha boa visualização da articulação facetária. Alternativamente, é possível, sem rodar o paciente, angular o tubo para obter o mesmo efeito. Em seguida, uma agulha é inserida verticalmente na articulação, e sua posição é confirmada através de angulação do tubo, rotação do paciente, ou através da administração de contraste. Após esta confirmação, injeta-se a solução anestésica ou a associação de anestésico com corticoide. Alguns estudos demonstraram que o procedimento é também eficaz com a injeção da solução em situação periarticular, o que torna este tipo de injeção aceitável, especialmente quando uma punção intra-articular é de difícil obtenção [7, 24, 25]. Outra técnica descrita é a utilização de uma abordagem direta via posterior para a punção do recesso articular inferior. [7, 14-16].

Modelos Simuladores e Curva de Aprendizado

O aprendizado de uma nova habilidade normalmente requer muitas horas de prática e repetição. A prática deliberada e repetitiva contribui

para a obtenção e manutenção de proficiência em técnicas e habilidades na área médica [26, 27].

A performance de médicos em determinada tarefa, especialmente as que envolvem habilidades motoras, como na área cirúrgica, melhora com a experiência e, conseqüentemente, com a repetição. Esta melhora costuma ser mais rápida na fase inicial, e tende decrescer progressivamente, até que o desempenho atinge uma certa estabilidade [28-30]. Este fenômeno é conhecido como curva de aprendizado.

A curva de aprendizado pode ser definida como a representação gráfica do desempenho em uma determinada tarefa, medida através de uma variável (como, por exemplo, tempo de procedimento, número de complicações, etc.) em função da experiência (medida, por exemplo, através do número de repetições, horas de treinamento, etc.) [28-30].

A curva de aprendizado pode ser usada para avaliar a evolução do aprendizado de habilidades e capacidades por médicos em treinamento e pode fornecer importantes informações acerca das variáveis que influenciam neste aprendizado [30]. A curva de aprendizado pode ser usada tanto para a avaliação individual de cada médico como para uma instituição ou grupo que começa a trabalhar com determinado tipo de procedimento [31].

A análise da curva de aprendizado pode também ajudar no planejamento de currículos de ensino e programas de treinamento, demonstrando o ponto em que o aprendizado atinge um platô, a partir do qual o médico estaria potencialmente preparado para desempenhar adequadamente uma certa tarefa sem supervisão [30, 32].

Nas últimas décadas, houve uma multiplicação do número de novas técnicas cirúrgicas e procedimentos minimamente invasivos. A curva de aprendizado tem sido extensamente utilizada na literatura na avaliação dessas novas técnicas [31, 33-36].

No âmbito do ensino médico, especialmente nas especialidades cirúrgicas e intervencionistas, o modelo tradicional de aprendizado, focado apenas na observação e participação de procedimentos reais com pacientes, apresenta problemas, tanto em virtude do número de procedimentos disponíveis, quanto em decorrência de potenciais prejuízos e complicações para o paciente de procedimentos realizados por médicos ainda incompletamente treinados, além dos aspectos médico-legais envolvidos [28].

Diante deste cenário, o uso de modelos simuladores ganhou espaço no ensino médico. Modelos simuladores são aproximações da realidade que requerem que os indivíduos em treinamento reajam a problemas ou condições do mesmo modo como fariam em situações reais [37].

Os simuladores são projetados para recriar algum aspecto do ambiente de trabalho, o que pode variar desde a replicação de uma simples tarefa, como uma punção venosa, até a simulação de ambientes inteiros, como um centro cirúrgico [38]. Os simuladores recriam a experiência na tarefa a que se propõem a simular, permitindo repetições em grande número e sob demanda.

Os primeiros modelos utilizados em medicina consistiam principalmente em manequins que simulavam a anatomia humana e permitiam o treinamento de habilidades motoras. O avanço tecnológico permitiu o surgimento de simuladores cada vez mais avançados, de alta fidelidade, que integram os manequins com softwares de computadores que permitem maior realismo e interações cada vez mais sofisticadas entre o estudante e o simulador [39].

Os processos educativos que formam a base do aprendizado em simuladores são a repetição deliberada, a reflexão e o *feedback*. A reflexão consiste no aluno pensar e avaliar criticamente a experiência da realização da tarefa. Ela se dá em dois momentos: tanto durante a

realização da tarefa (reflexão na ação) quanto após a sua finalização (reflexão sobre a ação). O *feedback* é parte essencial do modelo de aprendizado em simuladores e pode ser fornecido pelo tutor durante ou após os procedimentos [38].

Os modelos simuladores têm a capacidade de aprimorar a habilidade e a confiança dos alunos em procedimentos complexos e de risco e possuem a vantagem de permitirem erros durante o treinamento sem prejuízo para pacientes e também permitem a análise objetiva de parâmetros de aprendizado [28, 40]. A literatura mostra que as habilidades adquiridas em um simulador podem levar a melhor desempenho em procedimentos reais. [32, 41].

Uma revisão sistemática feita por Lynagh et al. constatou que a maioria dos estudos demonstrou melhora significativa no desempenho em procedimentos com o treinamento em simuladores, quando comparados aos grupos controle (sem treinamento ou com treinamento tradicional). Em estudos em que diferentes tipos de simuladores foram usados, vários não mostraram diferença significativa no desempenho após o treinamento entre as diferentes modalidades de simuladores. Poucos estudos avaliaram a transferência de habilidades dos simuladores para a prática clínica ou estudaram a manutenção no longo prazo das habilidades adquiridas [39].

O uso de simuladores para treinamento começou na área da aviação. Denson e Abrahamson foram os pioneiros na utilização de simuladores no treinamento médico, no campo da anestesia [43].

O uso de modelos simuladores ganhou especial importância e notoriedade nas especialidades cirúrgicas, especialmente com o advento da cirurgia laparoscópica, quando houve a necessidade de treinar um grande número de médicos e residentes em formação e, inclusive, de médicos já formados, e havia poucos profissionais com experiência nesta

modalidade com disponibilidade para ensinar, já que se tratava de um novo método [26, 28, 43].

Após terem sido usados com sucesso no âmbito da cirurgia laparoscópica, o uso de modelos simuladores se difundiu para outras áreas médicas, mais notadamente aquelas que também trabalham com procedimentos minimamente invasivos [40, 43, 44].

No campo da Radiologia Intervencionista e a Neurorradiologia o uso de simuladores também tem ganhado espaço [45-48]. Abdala N. et al desenvolveram, no serviço de Neurorradiologia Intervencionista de nossa Instituição, um modelo simulador para treinamento em vertebroplastia transpedicular percutânea [44], com boa receptividade pelos participantes do estudo.

No presente estudo, aproveitamos a experiência prévia em simuladores de nosso Departamento para desenvolver um simulador anatômico para treinamento em punção de articulações interapofisárias. Em seguida, estudamos a curva de aprendizado de residentes em radiologia e diagnóstico por imagem de nosso departamento no treinamento com este simulador.

Os procedimentos foram realizados no hospital universitário da Universidade Federal de São Paulo (Hospital São Paulo). O projeto de pesquisa foi aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo (Anexo 1).

ARTIGO

LEARNING CURVE OF RADIOLOGY RESIDENTS DURING TRAINING IN FLUOROSCOPY-GUIDED FACET JOINT INJECTIONS USING A SIMULATOR

Tiago Rocha Dias, João de Deus da Costa Alves Júnior, Nitamar Abdala

Artigo aceito para publicação na revista Radiologia Brasileira em 22/03/2016

LEARNING CURVE OF RADIOLOGY RESIDENTS DURING TRAINING IN FLUOROSCOPY-GUIDED FACET JOINT INJECTIONS USING A SIMULATOR

Abstract

Objective: To develop a simulator for training in facet joint injections guided by fluoroscopy and evaluate the learning curve in this procedure in a group of radiology residents.

Materials and Methods: Using a human lumbar spine as a model, we developed 5 lumbar vertebrae using methacrylate and plaster. These vertebrae were combined to form a spine model. We used a silicon envelopment to emulate the paravertebral muscles. The spine model was placed in the trunk of a plastic mannequin. We recruited 12 volunteers among radiology residents in our department. Each of these students performed 16 lumbar facet injections in our simulator during a training session. We used 3 parameters to assess the learning curves: procedure time, fluoroscopy time and quality of the procedure, defined according to the correct or incorrect positioning of the needle.

Results: The learning curves of all the students showed improvement in procedure and fluoroscopy time parameters during the training. The quality of the procedure parameter also showed improvement, defined by a decrease in the number of incorrect injections.

Conclusion: We present a simulation model for training in facet joint injections. The learning curves of our trainees using the simulator showed improvement in all assessed parameters.

Keywords: Facet joint injections; facet joint; learning curve; anatomic model; simulation; interventional radiology

1. Introduction

Facet Joint Injections

Facet joint injections are interventional procedures that may be used to treat or diagnose diseases of these joints [1-4].

Facet joint injections can be guided by fluoroscopy, CT, sonography or MRI [1, 2, 5]. Fluoroscopy is greatly available and broadly used for facet joint injections. Fluoroscopy has the advantage of allowing a short procedure time [1, 5, 6].

Simulation Models and Learning Curve

Learning new medical techniques usually requires many hours of training. Deliberate practice and repetition is essential for obtaining and maintaining proficiency in skills and abilities [7, 8].

Performance in medical procedures, particularly those that require motor skills, improves with experience and repetition.

The learning curve is a graphical representation of the improvement in performance in a certain task with experience. Performance can be assessed using variables such as procedure time or number of complications, and experience using others, such as number of repetitions or hours of training [9, 10].

Learning curves are often used to evaluate medical training. They provide important information regarding the variables that affect the learning process and may assist in curriculum planning in medical training programs [10, 11].

There has been a great increase in the number of new surgical techniques and minimally invasive procedures. Learning curves have been extensively used to evaluate these new techniques [11-13].

In medical education, particularly in the fields of surgery and interventional radiology, the traditional model of learning, based mainly on watching and

participating in real procedures, has limitations, such as the reduced number of procedures available for repetition, potential harm and complications to patients and ethical-legal issues [14].

Simulation models have the potential to improve ability and confidence in complex and risky procedures, allowing students to make mistakes during the training without harm to patients. These models also allow objective assessment of learning parameters [14, 15]. Abilities acquired in simulators may lead to improved performance in real procedures [11, 16].

The use of simulation models has gained great importance in the surgical field during the advent of laparoscopic surgery [7, 14, 17]. Subsequently, its use has spread to other areas of medical training, particularly in minimally invasive procedures [15, 17, 18].

In the field of Interventional Radiology and Neuroradiology, the use of simulators has also gained space [19-22].

2. Objective

To develop a simulation model for training in facet joint injections guided by fluoroscopy and evaluate the learning curve in this procedure in a group of radiology residents.

3. Materials and Methods

Development of The Simulation Model

We refined a previous simulation model [18]. 5 vertebrae were developed based on the lumbar spine of a human cadaver. To make the model's vertebrae, a silicon mold based on human vertebrae was filled with sponges soaked in

methacrylate and plaster, emulating the bone marrow. An external layer of methacrylate and plaster was added to emulate the bone cortex.

The spine model was assembled combining 5 vertebrae, connected by 1.5 cm thick fragments of sponge soaked in polymethylsiloxane and silica, which served as intervertebral discs. The articular spaces of the facet joints were also filled with polymethylsiloxane and silica.

We added to this model a silicon mold with a tactile consistency similar to that of the paravertebral muscles. The spine model was placed inside that mold (Figure 1).

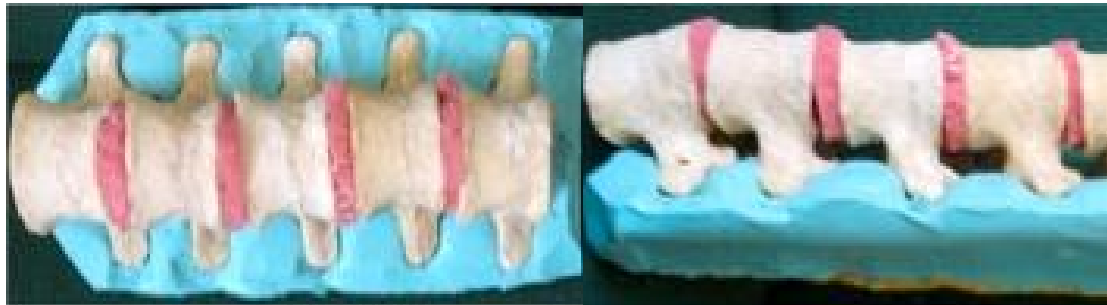


Figure 1: Spine model made of 5 lumbar vertebrae placed inside the silicon mold.

We used a commercial plastic mannequin to emulate the human trunk. We removed the posterior plastic surface of the mannequin to gain access to the interior. Inside it, we built a small wooden plate along the longitudinal axis of the trunk, and fixated the plate with screws in the inferior and superior walls.

On the surface of the plate, we placed 2 parallel stripes of ethylene-vinyl acetate, 4.0 cm away from each other. Each stripe was 30 cm long and 2.0 cm large. The height of each stripe was 4.0 cm in the middle and 5.0 cm at the extremities. The spine model was placed on these stripes.

After placing the spine model, we covered the posterior surface of the mannequin with a 0.5 cm sheet of ethylene-vinyl acetate (Figure 2).



Figure 2: Assembling the model.

Volunteers for the Training

12 radiology residents volunteered for training in facet joint injections using our simulation model and all were accepted. The volunteers were from both genders and were attending the first, second or third year of the radiology residency program at our institution. None had previous experience with this type of procedure. The training sessions were scheduled according to the availability of the volunteer and conducted under the supervision of a qualified radiologist.

Instruments and Procedure

The procedures were performed at our institution's university hospital, using a Phillips Integris V 5000 Angiography System. We used lead aprons and thyroid collars for radiation protection.

Each volunteer received a theoretical explanation of the procedure prior to attempting the injections and watched a member of our team perform a demonstration using the simulator.

Each volunteer performed 16 injections in the simulator, in a single training session, divided in 2 phases. In the first phase, the volunteers performed the injections in the L1-L2 to L4-L5 levels, on the left side, followed by the right side. In the second phase, they repeated the injections at the same levels, in the same order.

All the procedures begun with the model, x-ray tube and table placed in a standard neutral position. The volunteers were allowed to freely move the tube, table and model during the procedure, but were required to return them to their original position after finishing each injection.

An experienced radiologist supervised these procedures. The supervisor provided feedback during the training, between injections, pointing out mistakes and offering tips to improve performance.

We used the direct intra-articular injection approach. The simulator remained in ventral decubitus, and the x-ray tube was angulated obliquely to clearly demonstrate the articular space of the facet joint. The procedure's goal was to insert a 22-gauge needle parallel to the x-ray beam, guided by fluoroscopy, directly into the articular space. Plain films were acquired in oblique, lateral and frontal incidences to confirm and document the position of the needle.

Evaluated Parameters

We chose 3 parameters to evaluate the learning of our volunteers: procedure time, fluoroscopy time and qualitative classification of the procedure based on the correct positioning of the needle.

The procedure time was measured in seconds using a chronometer attached to the fluoroscopy machine. It consisted of the entire time taken to perform the injection after starting from the standard neutral position.

The fluoroscopy time was measured in minutes, as provided by the fluoroscopy machine for each procedure.

A radiologist, experienced in this type of procedure, made a qualitative assessment of the procedures, based on the plain films. The radiologist did not have access to the order of each injection or to the names of the performing volunteer. The procedures were classified as either adequate or inadequate. Procedures in which the final position of the needle was either intra-articular or adjacent to the joint (periarticular) were considered adequate (Figure 3). Those in which the final position of the needle was far away from the articular space were considered inadequate.

Using these parameters, we plotted the learning curves for each student, and the training was evaluated based on these curves.

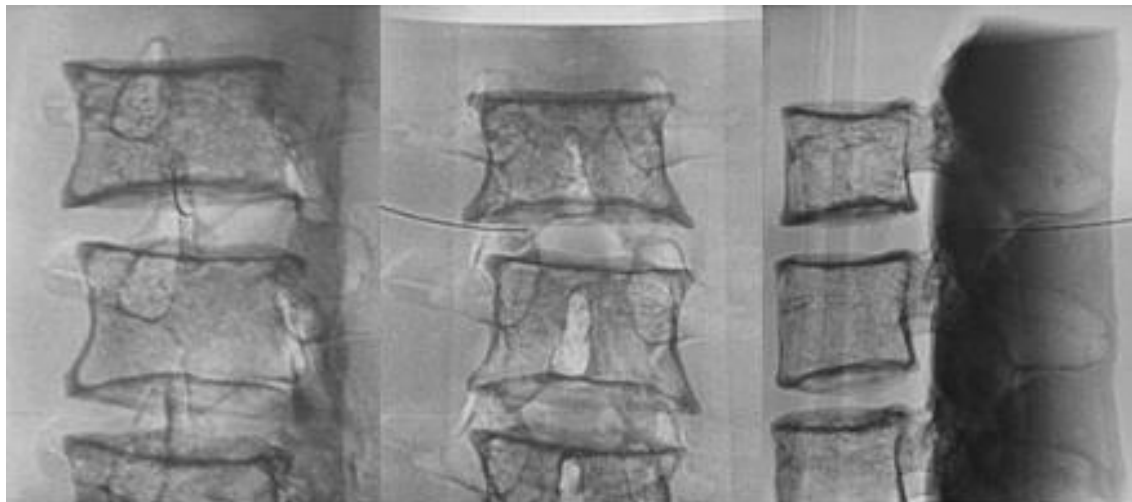


Figure 3: Radiographic appearance of an adequate procedure.

Statistical Analysis

The learning process was described graphically using dispersion diagrams for the procedure time and the fluoroscopy time parameters and bar charts for the qualitative classification of the procedures.

To assess the improvement (decrease) in the procedure time and fluoroscopy time parameters, we adopted the Wright model for learning curves, also known as the potential model. In this model, the mathematical expression of the learning curve is:

$$y = \alpha \cdot x^{\beta}$$

In which:

y = procedure time (or fluoroscopy time) for the n -th procedure;

α = estimated time to perform the first procedure;

x = cumulative number of procedures performed;

β = angle parameter or learning parameter (representing the declivity of the learning curve).

The value of β is mathematically estimated and is related to the learning rate of the student. From this estimation, we calculated the learning rate as 2^{β} (expressed as percentage).

First, we adjusted the potential model separately for each volunteer. The estimations obtained were resumed in means, standard deviations and variation coefficients. To obtain a global evaluation and statistically assess the effect of the training in the procedure time and fluoroscopy time parameters, we used a mixed linear model in which all data were analyzed together, considering the correlation (dependency) between the observations of each single individual. We assumed a

structure of autoregressive correlation, which considers a larger correlation between subsequent procedures.

For the qualitative analysis of the procedures, we applied the binomial model for dependent data to assess the potential increase in the chance of performing an adequate injection as the training progresses.

We sought to simplify the analysis by considering 2 phases of the training. Phase 1 comprised procedures 1 through 8. Phase 2 comprised procedures 9 through 16. These phases were compared in terms of the number of adequate injections, using the Wilcoxon non-parametric test.

4. Results

Procedure Time Analysis

Figure 4 shows the evolution in procedure time during the 16 injections performed by each of the 12 volunteers. There was progressive decrease in procedure time during the training.

The estimations obtained after the adjustment of the potential model are presented in Table 1. For all the volunteers, the inclination parameter was negative and statistically significant (different from 0). The mean learning rate was 78%, varying between 71.7% and 87.1%.

According to the general model, the estimated procedure time for the 1st injection was 208.5 seconds (CI 95% 165.7 to 262.4) and the declivity of the curve was 0.337 (standard error of 0.052), corresponding to a learning rate of 79.17%. The p value for the inclination was less than 0.001.

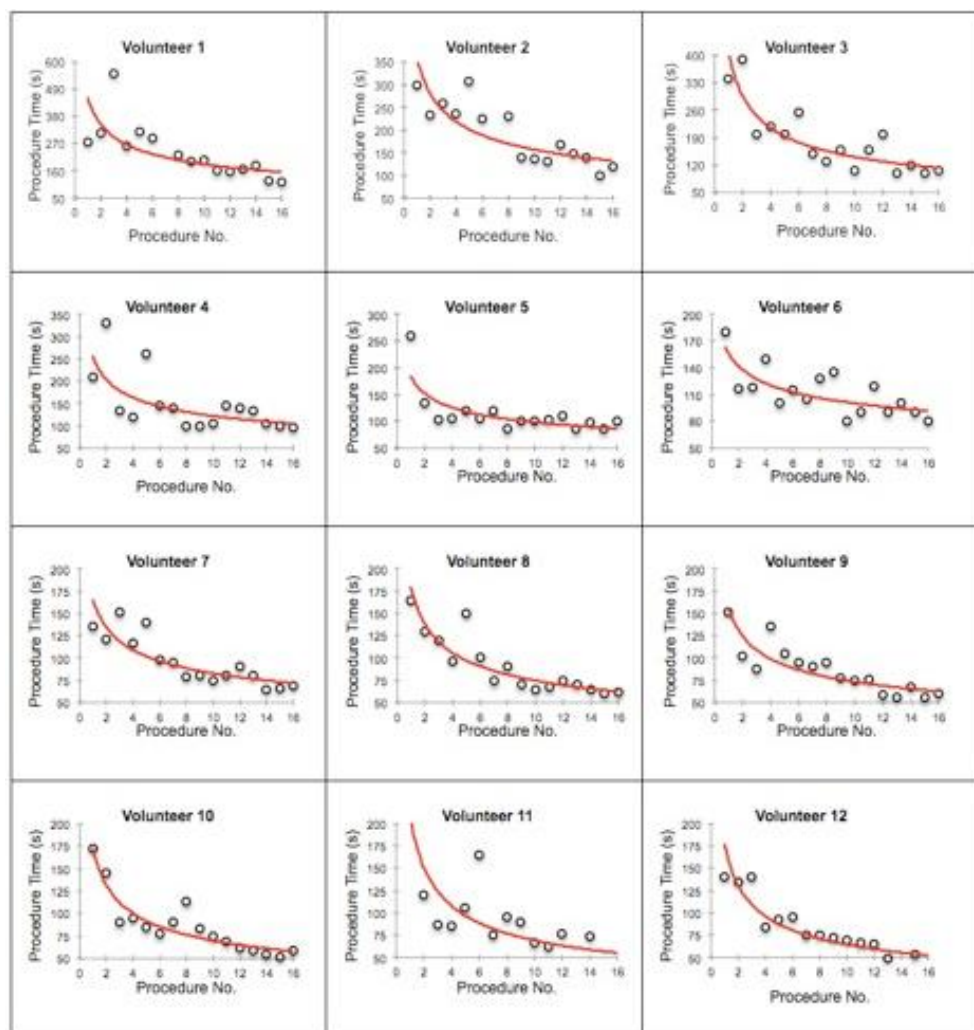


Figure 4: Graphical representation of the procedure time (in seconds) of the injections performed.

Volunteer	Estimated time for the 1st Injection (SE)	Curve's Declivity – Inclination Parameter β (SE)	Quality of the Adjustment (R^2)	Learning Rate
1	456.7 (86.7)	-0.38* (0.09)	0.579	76.8%
2	362.2 (51.4)	-0.36* (0.07)	0.683	77.9%
3	407.8 (62.2)	-0.46* (0.07)	0.737	72.7%
4	254.2 (46.1)	-0.31 [#] (0.09)	0.484	80.7%
5	182.8 (20.0)	-0.27* (0.05)	0.650	82.9%
6	163.1 (17.8)	-0.20 [#] (0.05)	0.524	87.1%
7	165.0 (16.2)	-0.30* (0.05)	0.740	81.2%
8	179.0 (17.5)	-0.38* (0.05)	0.821	76.8%
9	156.0 (16.7)	-0.33* (0.05)	0.743	79.6%
10	171.8 (17.2)	-0.39* (0.05)	0.822	76.3%
11	210.7 (38.8)	-0.48* (0.09)	0.677	71.7%
12	176.5 (16.2)	-0.43* (0.05)	0.873	74.2%
Mean	240.48	-0.36	0.69	78.16%
SD	106.76	0.08	0.12	4.41%
CV	44.4%	22.6%	17.3%	5.6%

SD = Standard deviation; SE=Standard Error; CV= Coefficient of Variation; * $p \leq 0.001$ and $p \leq 0.003$ for the hypothesis $\beta=0$

Table 1: Estimates obtained using the potential model for the procedure time (in seconds).

Fluoroscopy Time Analysis

All volunteers showed progressive improvement in the fluoroscopy time parameter (Figure 5).

In 11 of the 12 volunteers, the inclination parameter was statistically significant (different from zero). The mean learning rate was 79%, varying between 68.5% and 83.9% (Table 2).

The general model produced an estimate of 1.18 minutes for the fluoroscopy time of the first injection (IC95% 0.39 to 1.53), an inclination of the learning curve of -0.308 (CI 95% -0.186 to -0.431) and a learning rate of 80.7%. The p value for the inclination was less than 0,001, confirming the significant decrease in fluoroscopy time.

Volunteer	Estimated Fluoroscopy Time for the 1st Injection α (SE)	Declivity of the Curve- Inclination Parameter β (SE)	Quality of the Adjustment (R^2)	Learning Rate
1	2.999 (0.802)	-0.293* (0.124)	0.283	81.6%
2	1.862 (0.441)	-0.335* (0.114)	0.397	79.3%
3	1.640 (0.299)	-0.308** (0.088)	0.465	80.8%
4	1.315 (0.415)	-0.319 (0.153)	0.250	80.2%
5	1.086 (0.187)	-0.262** (0.083)	0.413	83.4%
6	0.818 (0.192)	-0.253* (0.113)	0.262	83.9%
7	1.215 (0.185)	-0.374*** (0.074)	0.648	77.2%
8	1.088 (0.153)	-0.354*** (0.068)	0.657	78.2%
9	0.898 (0.102)	-0.359*** (0.055)	0.754	78.0%
10	1.165 (0.113)	-0.355*** (0.047)	0.803	78.2%
11	1.494 (0.254)	-0.545*** (0.082)	0.757	68.5%
12	0.942 (0.087)	-0.362*** (0.045)	0.824	77.8%
Mean	1.38	-0.34	0.54	78.9%
Standard Deviation	0.60	0.07	0.22	3.9%
CV	43.38%	21.81%	40.73%	5.0%

SE= Standard Error; CV= Coefficient of Variation; * $p \leq 0.05$. ** $p \leq 0.01$ and *** $p \leq 0.001$ for the hypothesis $\beta=0$;

Note: For volunteer 4, the inclination parameter was not significant ($p=0.057$), but it was close to the usual level of 0.05.

Table 2: Estimates obtained from the potential models for the fluoroscopy time.

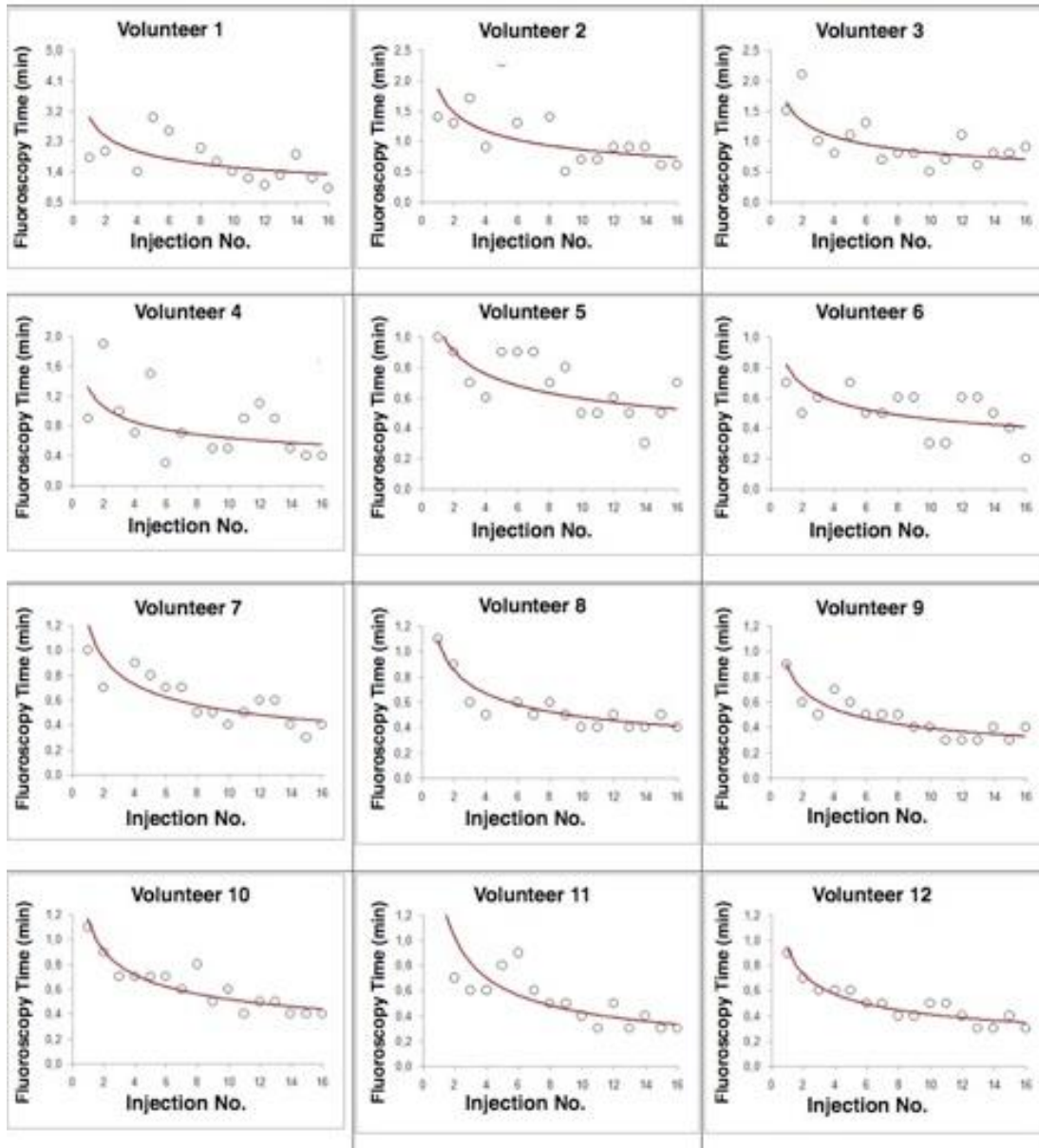


Figure 5: Graphical representation of the fluoroscopy time (in minutes) of the injections performed. Equations represent the adjustment of Wright's model; y =fluoroscopy time, x =cumulative number of injections, R^2 =Coefficient of determination (quality of the adjustment).

Qualitative Analysis of the Procedures

When we applied the binomial model for dependent data, we observed that the training had a statistically significant effect ($p < 0.001$), indicating that as the

procedures are performed, the chance of performing an adequate injection significantly increases (OR=1.62, CI95% 1.28 to 2,05). According to this model, at each new procedure, the chance of performing an adequate injection increases 62%.

We compared the number of adequate and inadequate injections in the 2 phases of the training.

Figure 6 shows the number of adequate injections in each phase for each volunteer. The Wilcoxon non-parametric test showed statistically significant difference between these 2 phases ($p=0.007$).

Notably, in the second phase, all the procedures were considered adequate.

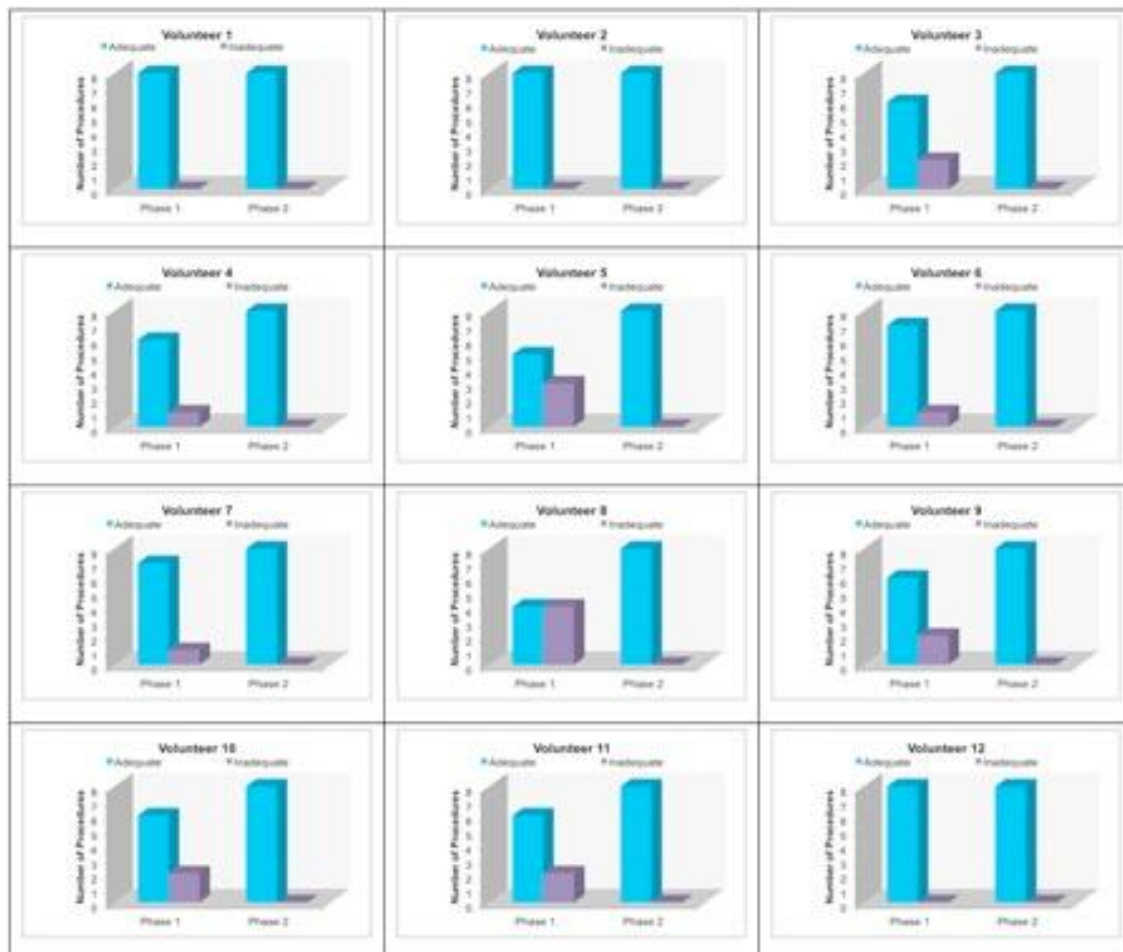


Figure 6: Graphical representation of the absolute frequency of adequate and inadequate procedures during the two phases of the training.

5. Discussion

The learning curves of the volunteers show progressive decrease in procedure time during the training. This decrease was statistically significant, indicating learning.

The procedure time parameter is broadly used in learning curves in medicine [8-11, 14, 17, 23]. Other parameters used in learning curves in surgical and interventional procedures, such as probability of complications and mortality, are hard to measure, due to low prevalence, and also might not be directly related to the technique of the procedure. Procedure time has the advantage of providing objective and easily measurable information [9].

The performance of a procedure in decreased time does not necessarily imply greater quality of the procedure [9]; however, this decrease usually reflects the gain in experience and confidence acquired with practice [24, 25]. The decrease in procedure time is often accompanied by a reduced number of complications [26].

The fluoroscopy time parameter has also been used previously in medical learning curves [24, 27]. Fluoroscopy time should be as low as possible, to minimize patient and operator radiation exposure [28]. A decrease in fluoroscopy time naturally follows the decrease in procedure time, but might also be related to other factors, such as the attention to avoid unnecessary use of fluoroscopy and the use of palpation and other techniques to reduce radiation exposure [28].

In the present study, the volunteers' learning curves showed a progressive decrease in fluoroscopy time, particularly at the beginning of the training, with smaller improvement in final procedures. Other studies that assessed fluoroscopy time in different procedures also showed similar results [24, 27].

In a simulator, it is not possible to assess some parameters that are directly related to the technical quality of the procedures, such as procedure efficacy or number of complications. We used an indirect assessment, based on the correct positioning of the needle, assuming that this parameter could be linked to different outcomes in real patients.

We observed an increase in the chance of performing an adequate injection during the training (OR=1.62, CI95% 1.28 to 2.05) when we applied the binomial model for dependent data. There was a significant increase in the number of adequate injections in the second phase compared with the first phase of the training ($p=0,007$). No inadequate injections were performed in the second phase.

We propose that after the eighth procedure, there is little benefit in continuing the training using the simulator, and the training could be completed with supervised real procedures.

We speculate that our simulator might assist in the training in facet joint injections, but further studying remains necessary to verify if the abilities gained using our simulator will translate in better performance in real procedures.

6. Conclusion

We present a simulator for training in facet joint injections.

The learning curves of our volunteers showed improvement in all evaluated parameters (procedure time, fluoroscopy time and qualitative classification of injections).

7. References

1. Peh W : **Image-guided facet joint injection**: Biomed Imaging Interv J, 2011. 7(1): p. e4.
2. Fritz J, Niemeyer T, Clasen S, Wiskirchen J, Tepe G, Kastler B, Nägele T, König CW, Claussen CD, Pereira PL: **Management of chronic low back pain: rationales, principles, and targets of imaging-guided spinal injections**. Radiographics, 2007. **27**(6): p. 1751-71.
3. Boswell MV, Trescot AM, Datta S, Schultz DM, Hansen HC, Abdi S, Sehgal N, Shah RV, Singh V, Benyamin RM, Patel VB, Buenaventura RM, Colson JD, Cordner HJ, Epter RS, Jasper JF, Dunbar EE, Atluri SL, Bowman RC, Deer TR, Swicegood JR, Staats PS, Smith HS, Burton AW, Kloth DS, Giordano J, Manchikanti L; American Society of Interventional Pain Physicians: **Interventional techniques: evidence-based practice guidelines in the management of chronic spinal pain**. Pain Physician, 2007. **10**(1): p. 7-111.
4. Bogduk N: **International Spinal Injection Society Guidelines for the Performance of Spinal Injection Procedures.: Part 1: Zygapophysial Joint Blocks**. The Clinical Journal of Pain, 1997. **13**(4): p. 285-286.
5. Silbergleit R, Mehta BA, Sanders WP, Talati SJ: **Imaging-guided injection techniques with fluoroscopy and CT for spinal pain management**. Radiographics, 2001. **21**(4): p. 927-39; discussion 940-2.
6. Lilius G, Harilainen A, Laasonen EM, Myllynen P: **Chronic unilateral low-back pain. Predictors of outcome of facet joint injections**. Spine (Phila Pa 1976), 1990. **15**(8): p. 780-2.
7. Marshall MB: **Simulation for technical skills**. J Thorac Cardiovasc Surg, 2012. **144**(3): p. S43-7.

8. Ericsson KA: **Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains.** Acad Med, 2004. **79**(10 Suppl): p. S70-81.
9. Ramsay CR, Grant AM, Wallace SA, Garthwaite PH, Monk AF, Russell IT: **Statistical assessment of the learning curves of health technologies.** Health Technol Assess, 2001. **5**(12): p. 1-79.
10. Wanzel KR, Ward M, Reznick RK: **Teaching the surgical craft: From selection to certification.** Curr Probl Surg, 2002. **39**(6): p. 573-659.
11. Watson DI, Baigrie RJ and Jamieson GG: **A learning curve for laparoscopic fundoplication. Definable, avoidable, or a waste of time?** Ann Surg, 1996. **224**(2): p. 198-203.
12. Hernandez J, Ross S, Morton C, McFarlin K, Dahal S, Golkar F, Albrink M, Rosemurgy A: **The learning curve of laparoendoscopic single-site (LESS) cholecystectomy: definable, short, and safe.** J Am Coll Surg, 2010. **211**(5): p. 652-7.
13. Qiu Z, Sun J, Pu Y, Jiang T, Cao J, Wu W: **Learning curve of transumbilical single incision laparoscopic cholecystectomy (SILS): a preliminary study of 80 selected patients with benign gallbladder diseases.** World J Surg, 2011. **35**(9): p. 2092-101.
14. Schijven MP and Jakimowicz J: **The learning curve on the Xitact LS 500 laparoscopy simulator: profiles of performance.** Surg Endosc, 2004. **18**(1): p. 121-7.
15. Coderre S, Anderson J, Rostom A, McLaughlin K: **Training the endoscopy trainer: from general principles to specific concepts.** Can J Gastroenterol, 2010. **24**(12): p. 700-4.

16. Hyltander A, Liljegren E, Rhodin PH, Lönroth H: **The transfer of basic skills learned in a laparoscopic simulator to the operating room.** Surg Endosc, 2002. **16(9):** p. 1324-8.
17. Rogers DA, Elstein AS and Bordage G: **Improving continuing medical education for surgical techniques: applying the lessons learned in the first decade of minimal access surgery.** Ann Surg, 2001. **233(2):** p. 159-66.
18. Abdala N, Oliveira RAS, João de Deus CAJ and Spinola T: **Modelo simulador para treinamento de punção transpedicular em vertebroplastia percutânea.** Radiologia Brasileira, 2007. **40:** p. 231-234.
19. Gould D: **Using simulation for interventional radiology training.** Br J Radiol, 2010. **83(991):** p. 546-53.
20. Johnson SJ, Guediri SM, Kilkenny C, Clough PJ: **Development and validation of a virtual reality simulator: human factors input to interventional radiology training.** Hum Factors, 2011. **53(6):** p. 612-25.
21. Lundberg J, Jonsson S, Holmin S: **New endovascular method for transvascular exit of arteries and veins: developed in simulator, in rat and in rabbit with full clinical integration.** PLoS One, 2010. **5(5):** p. e10449.
22. Gailloud P, Muster M, Piotin M, Mottu F, Murphy KJ, Fasel JH, Rüfenacht DA.: **In vitro models of intracranial arteriovenous fistulas for the evaluation of new endovascular treatment materials.** AJNR Am J Neuroradiol, 1999. **20(2):** p. 291-5.
23. Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, Bansal VK, Andersen DK, Satava RM: **Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study.** Ann Surg, 2002. **236(4):** p. 458-63; discussion 463-4.

24. Newton PO, Shea KG, Granlund KF: **Defining the pediatric spinal thoracoscopy learning curve: sixty-five consecutive cases.** Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(8): p. 1028-35.
25. Jones DP, Robertson PA, Lunt B, Jackson SA: **Radiation exposure during fluoroscopically assisted pedicle screw insertion in the lumbar spine.** Spine (Phila Pa 1976), 2000. **25**(12): p. 1538-41.
26. Tay CW, Shen L, Hartman M, Iyer SG, Madhavan K, Chang SK: **SILC for SILC: Single Institution Learning Curve for Single-Incision Laparoscopic Cholecystectomy.** Minim Invasive Surg, 2013. **2013**: p. 381628.
27. Kasasbeh ES, Parvez B, Huang RL, Hasselblad MM, Glazer MD, Salloum JG, Cleator JH, Zhao DX: **Learning curve in transradial cardiac catheterization: procedure- related parameters stratified by operators' transradial volume.** J Invasive Cardiol, 2012. **24**(11): p. 599-604.
28. Blair B, Huang G, Arnold D, Li R, Schlaifer A, Anderson K, Engebretsen S, Wallner C, Olgin G, Baldwin DD: **Reduced Fluoroscopy Protocol for Percutaneous Nephrostolithotomy: Feasibility, Outcomes, and Effects on Fluoroscopy Time.** J Urol, 2013.

2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de simuladores já é prática bem estabelecida no ensino médico.

Neste trabalho, procuramos desenvolver um modelo simulador para treinamento em punção de articulações facetárias.

Nosso modelo teve boa aceitação por parte dos residentes que participaram do treinamento.

A análise das curvas de aprendizado demonstrou melhora em todos os parâmetros avaliados. Esta melhora reflete o aprendizado e incremento técnico adquiridos durante o treinamento.

Nosso modelo é de baixo custo, e pode ser facilmente replicado por outras instituições.

Acreditamos que nosso modelo pode ser uma ferramenta útil no treinamento de residentes e especializandos em radiologia intervencionista.

3 ANEXOS



São Paulo, 30 de maio de 2008.
CEP 0430/08

Ilmo(a) Sr(a)
Pesquisador(a) TIAGO ROCHA DIAS
Co-Investigadores: Nitamar Abdala (orientador), João de Deus da Costa Alves Junior
Disciplina/Departamento: Diagnóstico por Imagem da Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo
Patrocinador: Recursos Próprios.

PARECER DO COMITÊ DE ÉTICA INSTITUCIONAL

Ref: Projeto de pesquisa intitulado: "Utilização de modelo experimental para treinamento em punção de articulações interapofisárias lombares guiada por fluoroscopia".

CARACTERÍSTICA PRINCIPAL DO ESTUDO: Observacional.

RISCOS ADICIONAIS PARA O PACIENTE: Sem risco.

OBJETIVOS: Desenvolver um modelo simulador para o treinamento em punção inter-apofisária para bloqueio articular guiada por fluoroscopia e avaliar o aprendizado destas punções em um grupo de médicos residentes em radiologia e diagnóstico por imagem de 3º e 4º ano.

RESUMO: Serão confeccionadas vértebras modelo tomando como base vértebras lombares humanas. Serão utilizados moldes de borracha siliconada, que serão preenchidos com uma camada a base de metacrilato e gesso, e uma camada interna com esponja enrijecida em banho com a mesma solução. O modelo será albergado no interior de um molde de silicone, simulando a consistência da musculatura paravertebral e conferindo estabilidade à coluna-modelo. Este conjunto será fixado no interior de um gabinete feito com um manequim plástico de uso comercial, reproduzindo o tronco humano. Serão recrutados 5 alunos entre os residentes em radiologia e diagnóstico por imagem de 3º e 4º ano, do Departamento de Diagnóstico por Imagem da UNIFESP. Cada aluno participará de sessões de treinamento sob orientação de um neuroradiologista com experiência no método. Os alunos realizarão um total de 30 punções divididas em 3 sessões de treinamento. Serão analisados parâmetros de tempo de procedimento e de fluoroscopia e classificação da punção de acordo com o adequado posicionamento da agulha.

FUNDAMENTOS E RACIONAL: A realização de procedimento intervencionista requer treinamento especializado do médico intervencionista. O desenvolvimento de modelos experimentais para treinamento de profissionais médicos na área de radiologia intervencionista vem se tomando cada vez mais uma realidade. Este estudo visa desenvolver um modelo simulador para treinamento de punção inter apofisária guiada por fluoroscopia e avaliar a curva de aprendizado utilizando este modelo.

MATERIAL E MÉTODO: Estão descritos os procedimentos a serem realizados.

TCLE: Adequado, de acordo com a resolução 196/96.

DETALHAMENTO FINANCEIRO: Sem financiamento externo.

Rua Botucatu, 572 - 1º andar - conj. 14 - CEP 04023-062 - São Paulo / Brasil
Tel.: (011) 5571-1062 - 5539.7162

1



CRONOGRAMA: 3 meses

OBJETIVO ACADÊMICO: Não envolve obtenção de título.

ENTREGA DE RELATÓRIOS PARCIAIS AO CEP PREVISTOS PARA: 25/5/2009 e 25/5/2010.

O Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo ANALISOU e APROVOU o projeto de pesquisa referenciado.

1. Comunicar toda e qualquer alteração do projeto e termo de consentimento livre e esclarecido. Nestas circunstâncias a inclusão de pacientes deve ser temporariamente interrompida até a resposta do Comitê, após análise das mudanças propostas.
2. Comunicar imediatamente ao Comitê qualquer evento adverso ocorrido durante o desenvolvimento do estudo.
3. Os dados individuais de todas as etapas da pesquisa devem ser mantidos em local seguro por 5 anos para possível auditoria dos órgãos competentes.

Atenciosamente,

Prof. Dr. José Omar Medina Pestana
Coordenador do Comitê de Ética em Pesquisa da
Universidade Federal de São Paulo/Hospital São Paulo

08/08/08

Rua Botucatu, 572 - 1º andar - conj. 14 - CEP 04023-062 - São Paulo / Brasil
Tel.: (011) 5571-1062 - 5539.7162

2

Anexo 1. Carta de aprovação do projeto de pesquisa pelo Comitê de Ética em Pesquisa da Universidade Federal de São Paulo.

De: onbehalfof+radiologiabrasileira+cbr.org.br@manuscriptcentral.com [onbehalfof+radiologiabrasileira+cbr.org.br@manuscriptcentral.com]

Enviado: terça-feira, 22 de março de 2016 11:43

Para: nitamar.ddi@epm.br; Ilza Batista

Assunto: Radiologia Brasileira - Artigo RB-2015-0176.R1 aprovado

22-Mar-2016

Prezados Autores,

Referente ao artigo: LEARNING CURVE OF RADIOLOGY RESIDENTS DURING TRAINING IN FLUOROSCOPY-GUIDED FACET JOINT INJECTIONS USING A SIMULATOR

Código de fluxo: RB-2015-0176.R1

Temos o prazer de informar que o manuscrito acima citado foi aprovado pelo Conselho Editorial e será incluído na programação para publicação na Revista Radiologia Brasileira. Lembramos que algumas modificações poderão ser solicitadas até a publicação do artigo.

Além disso, é necessário o envio de dois documentos, que seguem anexos, antes da publicação do artigo: a Divulgação de Potencial Conflito de Interesses pelo Autor (assinado apenas pelo autor correspondente) e o Termo Copyright (assinado por todos os autores).

Obrigado por submeter seu trabalho e aguardamos novas contribuições.

Atenciosamente,

Dr. Edson Marchiori
Editor-chefe, Radiologia Brasileira

Anexo 2. Email de aprovação do artigo para publicação na revista Radiologia Brasileira.

4 REFERÊNCIAS

1. Goode, A.P., T.S. Carey, and J.M. Jordan, *Low back pain and lumbar spine osteoarthritis: how are they related?* Curr Rheumatol Rep, 2013. **15**(2): p. 305.
2. Schwarzer, A.C., et al., *Clinical features of patients with pain stemming from the lumbar zygapophysial joints. Is the lumbar facet syndrome a clinical entity?* Spine (Phila Pa 1976), 1994. **19**(10): p. 1132-7.
3. Lewinnek, G.E. and C.A. Warfield, *Facet joint degeneration as a cause of low back pain.* Clin Orthop Relat Res, 1986(213): p. 216-22.
4. Manchikanti, L., et al., *Prevalence of lumbar facet joint pain in chronic low back pain.* Pain Physician, 1999. **2**(3): p. 59-64.
5. Schwarzer, A.C., et al., *Prevalence and clinical features of lumbar zygapophysial joint pain: a study in an Australian population with chronic low back pain.* Ann Rheum Dis, 1995. **54**(2): p. 100-6.
6. Kalichman, L. and D.J. Hunter, *Lumbar facet joint osteoarthritis: a review.* Semin Arthritis Rheum, 2007. **37**(2): p. 69-80.
7. Peh, W., *Image-guided facet joint injection.* Biomed Imaging Interv J, 2011. **7**(1): p. e4.
8. Helbig, T. and C.K. Lee, *The lumbar facet syndrome.* Spine (Phila Pa 1976), 1988. **13**(1): p. 61-4.
9. Lippitt, A.B., *The facet joint and its role in spine pain. Management with facet joint injections.* Spine (Phila Pa 1976), 1984. **9**(7): p. 746-50.
10. Fritz, J., et al., *Management of chronic low back pain: rationales, principles, and targets of imaging-guided spinal injections.* Radiographics, 2007. **27**(6): p. 1751-71.
11. Jackson, R.P., *The facet syndrome. Myth or reality?* Clin Orthop Relat Res, 1992(279): p. 110-21.
12. Schwarzer, A.C., et al., *The ability of computed tomography to identify a painful zygapophysial joint in patients with chronic low back pain.* Spine (Phila Pa 1976), 1995. **20**(8): p. 907-12.
13. Pedicelli, A., et al., *Interventional spinal procedures guided and controlled by a 3D rotational angiographic unit.* Skeletal Radiol, 2011. **40**(12): p. 1595-601.
14. Silbergleit, R., et al., *Imaging-guided injection techniques with fluoroscopy and CT for spinal pain management.* Radiographics, 2001. **21**(4): p. 927-39; discussion 940-2.
15. Carrera, G.F., *Lumbar facet joint injection in low back pain and sciatica: description of technique.* Radiology, 1980. **137**(3): p. 661-4.
16. Sarazin, L., et al., *Lumbar facet joint arthrography with the posterior approach.* Radiographics, 1999. **19**(1): p. 93-104.
17. Boswell, M.V., et al., *Interventional techniques: evidence-based practice guidelines in the management of chronic spinal pain.* Pain Physician, 2007. **10**(1): p. 7-111.

18. Tibrewal, S., O.H. Khan, and S.B. Tibrewal, *Facet joint injection in lower back pain--is its continued use justified?*, in *J R Soc Med*. 2007: England. p. 301-2.
19. Boyajian, S.S., *Using image-guided techniques for chronic low back pain*. J Am Osteopath Assoc, 2007. **107**(10 Suppl 6): p. Es3-9.
20. Bogduk, N., *International Spinal Injection Society Guidelines for the Performance of Spinal Injection Procedures.: Part 1: Zygapophysial Joint Blocks*. The Clinical Journal of Pain, 1997. **13**(4): p. 285-286.
21. Gofeld, M., S.J. Bristow, and S. Chiu, *Ultrasound-guided injection of lumbar zygapophyseal joints: an anatomic study with fluoroscopy validation*. Reg Anesth Pain Med, 2012. **37**(2): p. 228-31.
22. Loizides, A., et al., *Ultrasound-guided injections in the lumbar spine*. Med Ultrason, 2011. **13**(1): p. 54-8.
23. Weidner, S., W. Kellner, and H. Kellner, *Interventional radiology and the musculoskeletal system*. Best Pract Res Clin Rheumatol, 2004. **18**(6): p. 945-56.
24. Lilius, G., et al., *Lumbar facet joint syndrome. A randomised clinical trial*. J Bone Joint Surg Br, 1989. **71**(4): p. 681-4.
25. Lilius, G., et al., *Chronic unilateral low-back pain. Predictors of outcome of facet joint injections*. Spine (Phila Pa 1976), 1990. **15**(8): p. 780-2.
26. Marshall, M.B., *Simulation for technical skills*. J Thorac Cardiovasc Surg, 2012. **144**(3): p. S43-7.
27. Ericsson, K.A., *Deliberate practice and the acquisition and maintenance of expert performance in medicine and related domains*. Acad Med, 2004. **79**(10 Suppl): p. S70-81.
28. Schijven, M.P. and J. Jakimowicz, *The learning curve on the Xitact LS 500 laparoscopy simulator: profiles of performance*. Surg Endosc, 2004. **18**(1): p. 121-7.
29. Ramsay, C.R., et al., *Statistical assessment of the learning curves of health technologies*. Health Technol Assess, 2001. **5**(12): p. 1-79.
30. Wanzel, K.R., M. Ward, and R.K. Reznick, *Teaching the surgical craft: From selection to certification*. Curr Probl Surg, 2002. **39**(6): p. 573-659.
31. Tay, C.W., et al., *SILC for SILC: Single Institution Learning Curve for Single-Incision Laparoscopic Cholecystectomy*. Minim Invasive Surg, 2013. **2013**: p. 381628.
32. Watson, D.I., R.J. Baigrie, and G.G. Jamieson, *A learning curve for laparoscopic fundoplication. Definable, avoidable, or a waste of time?* Ann Surg, 1996. **224**(2): p. 198-203.
33. Hernandez, J., et al., *The learning curve of laparoendoscopic single-site (LESS) cholecystectomy: definable, short, and safe*. J Am Coll Surg, 2010. **211**(5): p. 652-7.
34. Qiu, Z., et al., *Learning curve of transumbilical single incision laparoscopic cholecystectomy (SILS): a preliminary study of 80 selected patients with benign gallbladder diseases*. World J Surg, 2011. **35**(9): p. 2092-101.
35. Solomon, D., et al., *Single-port cholecystectomy: small scar, short learning curve*. Surg Endosc, 2010. **24**(12): p. 2954-7.
36. Joseph, M., M. Phillips, and C.C. Rupp, *Single-incision laparoscopic cholecystectomy: a combined analysis of resident and attending learning curves at a single institution*. Am Surg, 2012. **78**(1): p. 119-24.

37. Fadi, M., et al., *Low- versus high-fidelity simulations in teaching and assessing clinical skills*. Journal of Taibah University Medical Sciences, 2015. **10**(1): p. 12-15.
38. Maran, NJ. , Glavin RJ., *Low- to high-fidelity simulation – a continuum of medical education?* Med Educ, 2003; **37**:22-8 .
39. Lynagh M., Burton R., Sanson-Fisher R. *A systematic review of medical skills laboratory training: where to from here?* Med Educ, 2007; **41**(9):879–887.
40. Coderre, S., et al., *Training the endoscopy trainer: from general principles to specific concepts*. Can J Gastroenterol, 2010. **24**(12): p. 700-4.
41. Hylander, A., et al., *The transfer of basic skills learned in a laparoscopic simulator to the operating room*. Surg Endosc, 2002. **16**(9): p. 1324-8.
42. Denson JS., Abrahamson SA., *Computer-Controlled Patient Simulator*. JAMA, 1969. **208**(3):504-8.
43. Rogers, D.A., A.S. Elstein, and G. Bordage, *Improving continuing medical education for surgical techniques: applying the lessons learned in the first decade of minimal access surgery*. Ann Surg, 2001. **233**(2): p. 159-66.
44. Abdala, N., et al., *Modelo simulador para treinamento de punção transpedicular em vertebroplastia percutânea*. Radiologia Brasileira, 2007. **40**: p. 231-234.
45. Gould, D., *Using simulation for interventional radiology training*. Br J Radiol, 2010. **83**(991): p. 546-53.
46. Johnson, S.J., et al., *Development and validation of a virtual reality simulator: human factors input to interventional radiology training*. Hum Factors, 2011. **53**(6): p. 612-25.
47. Lundberg, J., S. Jonsson, and S. Holmin, *New endovascular method for transvascular exit of arteries and veins: developed in simulator, in rat and in rabbit with full clinical integration*. PLoS One, 2010. **5**(5): p. e10449.
48. Gailloud, P., et al., *In vitro models of intracranial arteriovenous fistulas for the evaluation of new endovascular treatment materials*. AJNR Am J Neuroradiol, 1999. **20**(2): p. 291-5.