



HAL
open science

Pseudarthrose du rachis dans la pathologie dégénérative : diagnostic et retentissement socio-professionnel

Maxime Huneidi

► **To cite this version:**

Maxime Huneidi. Pseudarthrose du rachis dans la pathologie dégénérative : diagnostic et retentissement socio-professionnel. Sciences du Vivant [q-bio]. 2021. dumas-03411725

HAL Id: dumas-03411725

<https://dumas.ccsd.cnrs.fr/dumas-03411725v1>

Submitted on 2 Nov 2021

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Thèse

Pour l'obtention du

Diplôme d'Etat de docteur en médecine

Présentée et soutenue publiquement le 18 Octobre 2021

Par

M. HUNEIDI Maxime

Né le 8 Avril 1994, à Périgueux

Pseudarthrose du rachis dans la pathologie dégénérative : diagnostic et retentissement socio-professionnel

Directeur de thèse

Monsieur le Docteur BOISSIERE Louis

Rapporteur de thèse

Monsieur le Professeur RIGOARD Philippe

Membres du Jury

Monsieur le Professeur VITAL Jean-Marc.....Président
Madame le Docteur CORAND Virginie.....Juge
Monsieur le Professeur GILLE Olivier.....Juge
Monsieur le Professeur RIGOARD Philippe.....Juge
Monsieur le Docteur BOISSIERE Louis.....Juge

REMERCIEMENTS

Au président du jury,

**Monsieur le Professeur Jean-Marc Vital
Professeur des Universités en Anatomie – Praticien Hospitalier au CHU de Bordeaux**

Vous m’avez formé et énormément appris, tout en m’encourageant à m’engager dans la voie de la chirurgie du rachis. Vos connaissances, vos techniques et votre capacité à transmettre votre savoir à nous tous, futurs chirurgiens, contribue pleinement à entretenir l’excellence de ce service.

Je vous remercie de me faire l’honneur de présider ma thèse. Soyez assuré de mon profond respect et de ma gratitude.

A mon directeur de thèse,

**Monsieur le Docteur Louis Boissière,
Praticien hospitalier au CHU de Bordeaux**

Tu as été mon premier sénior en rachis, et tu m’as guidé tout au long de mon internat. Ton aisance chirurgicale, ton ouverture d’esprit et ta constante volonté d’améliorer notre spécialité sont des qualités que j’admire. Ton appétence à la culture scientifique et le compagnonnage que tu entretiens m’ont énormément aidé dans ce travail.

Sois assuré de ma reconnaissance et de mon respect pour tout ce que tu as fait pour moi, j’espère que j’ai répondu à tes attentes.

A mon rapporteur,

**Monsieur le Professeur Philippe Rigoard,
Professeur des Universités en neurochirurgie – Praticien hospitalier au CHU de Poitiers**

Je vous remercie de me faire l’honneur de juger ma thèse et d’avoir accepté de participer à ce travail. La neurochirurgie est une magnifique spécialité, le dialogue et l’association avec les orthopédistes contribuent à enrichir constamment la chirurgie du rachis.

Soyez assuré de mon respect le plus sincère et de ma profonde gratitude.

A mes juges,

Monsieur le Professeur Olivier Gille

Professeur des Universités en chirurgie orthopédique – Praticien Hospitalier au CHU de Bordeaux

Chef de service de l'unité orthopédique et traumatologique – Chirurgie du rachis

Apprendre avec vous m'a constamment fait progresser sur la voie de la chirurgie. Votre rigueur et la précision de vos gestes sont des exemples que j'essaierai de suivre.

Je vous remercie de me faire l'honneur de juger ma thèse.

Soyez assuré de mon profond respect et de ma reconnaissance pour votre enseignement.

Madame le Dr Virginie Corand

Praticien Hospitalier au CHU de Bordeaux

Chef de service de médecine de la douleur

Je vous remercie d'avoir accepté de juger mon travail, qui je l'espère permet de lier nos 2 spécialités qui ne s'opposent en rien mais sont bel et bien complémentaires. Me permettre d'avoir votre jugement sur ma thèse est un honneur.

Soyez assurée de mon respect et de ma profonde reconnaissance.

A mes maîtres d'internat

Professeur Stéphane Fuentes

Vous m'avez accueilli dans votre unité à Marseille. Votre humanité, votre sens du travail, vos gestes au bloc opératoire et les connaissances que vous m'avez transmises resteront gravés dans ma mémoire. Je ne vous remercierai jamais assez.

Soyez assuré de mon profond respect.

Professeur Brice Ilharreborde

Vous m'avez accueilli et intégré très rapidement dans votre service à Paris. Merci pour votre apprentissage et de m'avoir appris l'art de la chirurgie pédiatrique et de la déformation. Soyez assuré de mon profond respect.

Professeur Vincent Pointillart

Vos qualités ne sont qu'inspirantes pour moi, et travailler avec vous m'a permis d'ouvrir mon esprit et découvrir un autre pan de la chirurgie. Je vous en remercie, soyez assuré de mon profond respect.

Docteur Benoît Gheysens

« 1 geste, 1 action » et bien d'autres, je garderai toujours vos phrases qui ont jalonné mon apprentissage à vos côtés. Soyez assuré de mon profond respect.

Professeur Thierry Fabre

Je vous remercie pour votre enseignement, et pour m'avoir appris la rigueur de l'art de la traumatologie. Soyez assuré de mon profond respect.

Docteur Vincent Souillac

Votre sens de la transmission du savoir et votre accessibilité m'ont permis d'apprendre énormément, surtout le vendredi. Je suis heureux d'avoir fait partie des nombreux internes que vous avez formés. Soyez assurés de mon profond respect.

A mes chefs et séniors qui m'ont tout appris,

Aux chirurgiens de l'hôpital de Libourne,

Docteur Stéphane Costes

Docteur Eric Lasseur

Docteur Bertrand Dunet

Docteur Geoffrey Recanati

Docteur Prakash Dindoyal

Docteur Hassan Houmaïda

Aux chirurgiens orthopédistes du CHU de Bordeaux,

Docteur Ibrahim Obeid

Docteur Camille Damade

Docteur Benjamin Bouyer

Docteur Soufiane Ghailane

Docteur Jean-Etienne Castelain

Docteur Marion Petit

Docteur Pierre Coudert

Docteur Simon Mazas

Docteur Rafael De Bartolo

Docteur Marie-Laure Abi-Chala

Docteur Paul-Maxime Lacroix

Docteur Johan Lebecque

Docteur Lucas Azzolin

Docteur Edouard Harly

Docteur Alexandra Erbland

Docteur Alison Delesque

Docteur Xavier Thévenot

Docteur Daniel Ristic

Aux chirurgiens orthopédistes de l'hôpital de Dax,

Docteur Bruno Zipoli

Docteur Damien Ribeyre

Docteur Anne Cernier

Aux neurochirurgiens du CHU de Marseille,

Docteur Kaissar Farah
Docteur Faisal Albader
Docteur Mickael Meyer
Professeur Henry Dufour
Docteur Thomas Graillon
Docteur Sébastien Boissonneau

Aux chirurgiens orthopédistes infantiles de l'AP-HP,

Docteur Adèle Happiette
Docteur Anne-Laure Simon
Docteur Philippe Souchet
Docteur Ana Presedo
Docteur Kenny Rozenfeld
Docteur Frederique Dizin
Docteur Pascal Jehanno
Docteur Cindy Mallet

A tous mes cointernes :

Les bordelais : Pierre Meynard, Cécile Roscop, Paul Mathio, Mathieu Carissimi, Marie Leteve, Diego Facchinetti, Gérardo Torres, Alice Boishardy, Hugo Pelet, Xavier Buzon, Paul Héraudet, Pierre Chirez, Pierre Lavignac, Daphné Jauffrit, Guilhem Emile, Gaétan Lainé, François-Xavier Lambert, Clara Thouvenin, Grégoire Chatelier

Les marseillais : Talal Al-Shabibi, Marc Tsiaremby, Anis Mansourt

Les parisiens : Anahita Charlot, Marie Marant, Marie Plomion, Garance Martin, Edouard Gaillot, Marc Magnier, Jason Chinnapa

A toutes les équipes paramédicales et infirmières avec qui j'ai tant apprécié évoluer, une pensée particulière pour l'équipe du 7e aile 1, le bloc de Dax, l'unité 3 de la Timone, les secrétaires du 7

A mes amis marseillais : Adrien, Jean, Louise

Les varois : Marie-Alexandra, Cédric, Alexandre

Mes colocs préférées, qui m'ont toujours soutenu :

Maylis, cointerne, coloc, co-voyageuse viking... quelle équipe on a formé !
Féline à qui j'ai fait le plus beau plâtre de mon internat
Florence, international princess

A tous les dacquois des férias : Ambre, Julie, Claire, Zac, Manu

Les bordelais de cœur ou d'adoption :

Alexia, Manu, Fabien

Axelle

François Egrise, l'interne qui m'a donné goût à l'orthopédie pendant l'externat, en côtoyant les professeurs Trojani, Boileau et De Peretti à Nice.

L'équipe de l'AJCR : Jean, Laurie, Renan, Yann, Théo, Hugo, Laura et les autres

A ma Famille :

A mes parents

Je n'aurais jamais pu arriver jusqu'ici sans vous. Ce sont les valeurs que vous m'avez transmises, votre éducation, et votre présence inconditionnelle pour me soutenir depuis le début qui ont permis ce parcours. Je suis fier d'être votre fils.

Mon frère Clément, ma belle sœur Runa

Nous serons toujours unis, tant de souvenirs, merci d'avoir toujours été là derrière moi.

Ma sœur Emma,

Ma petite sœur devenue grande, je suis fier d'être ton grand frère, et heureux de t'avoir sur Bordeaux à présent.

A mes grands-parents, et tous ces souvenirs. Ce sont vos valeurs que j'espère perpétuer.

Papi que j'aurais tant aimé connaître.

Mamie

Tu étais si forte, et tes pensées toujours tournées vers tes petits-enfants pour nous encourager à vivre nos rêves. Tu resteras toujours une source d'inspiration pour moi.

Et à toute ma famille qui vient de loin

L'ensemble de ce travail est ou est destiné à être publié dans des revues spécialisées internationales. C'est pourquoi une grande partie de cette thèse a été écrite en anglais afin de limiter au maximum tout biais de traduction. Un résumé en français précède chaque partie, et la conclusion générale est également en français.

Plan

Remerciements

Introduction

- I) **Diagnostic de la pseudarthrose après arthrodèse cervicale**
 - 1) Résumé
 - 2) Abstract
 - 3) Diagnosis of reoperated cervical non union : multicenter retrospective study about 45 patients

- II) **Diagnostic de la pseudarthrose après arthrodèse lombaire**
 - 1) Résumé
 - 2) Abstract
 - 3) Contribution of MRI and imaging exams in the diagnosis of lumbar pseudarthrosis

- III) **Retentissement socio-professionnel de la pseudarthrose**
 - 1) Résumé
 - 2) Pseudarthrose après chirurgie du rachis : Evaluation de son impact sur le parcours social et professionnel des patients

Conclusion

INTRODUCTION

La chirurgie d'arthrodèse rachidienne, initialement développée en traumatologie, s'est progressivement étendue à la pathologie dégénérative, devant la fréquence de celle-ci et la symptomatologie douloureuse et handicapante engendrée.

Au niveau du rachis lombaire, celle-ci permet de réaliser décompression radiculaire et centrale large sans risquer de déstabiliser l'étage opéré, et de stopper tout processus dynamique de compression radiculaire ou d'inflammation discale.

En pathologie cervicale, l'arthrodèse par cage intersomatique s'est développée par l'essor de la voie antérieure pré-sterno-cleido-mastoïdienne, permettant d'éviter toute déformation cyphotique ou instabilité secondaire à une discectomie seule.

Au-delà de l'acte technique de décompression nerveuse, l'objectif de la chirurgie est le plus souvent fonctionnel, chez des patients présentant des douleurs chroniques aux multiples répercussions. Ainsi Chan en 2019 retrouve une amélioration significative de la symptomatologie douloureuse radiculaire et lombaire, ainsi que du score fonctionnel ODI (Oswestry Disability Index) sur une population opérée d'une arthrodèse lombaire 1 niveau pour spondylolisthésis dégénératif de grade 1. ¹

Stull en 2020 via une étude rétrospective met en évidence une amélioration significative des douleurs cervicales et radiculaires, du score fonctionnel NDI (Neck Disability Index) sur une population de patients opérés d'une arthrodèse cervicale par voie d'abord antérieure. ²

Les 2 principales complications à long terme de ces interventions de fusion intervertébrale sont le syndrome adjacent et la pseudarthrose, cette dernière étant définie comme l'absence de fusion osseuse 1 an après l'intervention.³ Si le diagnostic d'un syndrome adjacent reste relativement aisé, celui de pseudarthrose reste un problème souvent complexe à mettre en évidence.

Cette difficulté diagnostique peut s'expliquer par plusieurs facteurs liés à la pathologie : une symptomatologie aspécifique, des signes radiologiques subjectifs et une démarche diagnostique non consensuelle, le diagnostic de certitude restant la constatation per-opératoire de la persistance de mobilité inter-vertébrale.

Plusieurs études ont montré la relation particulière entre les pathologies rachidiennes et la vie professionnelle des patients.

La série de Rouben et al. sur 169 patients opérés d'une arthrodèse par TLIF double niveau retrouvait un taux pré-opératoire de 8% de patients en arrêt de travail, dont 57% de ces patients arrêtés reprenait leur activité professionnelle à terme.⁴

Nguyen sur une série de 725 patients opérés d'une arthrodèse lombaire retrouvait notamment la durée d'arrêt de travail préopératoire comme facteur de risque de ne pas reprendre le travail en postopératoire.⁵

Tabaree en 2015 retrouvait même, sur 352 patients opérés d'une chirurgie du rachis cervical, un taux de 37,5% de patients en arrêt de travail avant l'intervention, avec un plus fort taux de pseudarthrose et de moins bons résultats dans ce sous-groupe⁶. Ces conclusions sont similaires à celles de Anderson et al sur une étude de 2009.⁷

Dans notre pratique, les patients atteints de pseudarthrose semblent avoir une évolution globalement péjorative par rapport à une population opérée sans complication, en se basant sur nos observations cliniques.

Ce travail présente l'étude de la pseudarthrose rachidienne après arthrodèse sous différents plans. Nous nous intéresserons dans un premier temps au diagnostic de la pseudarthrose du rachis cervical et l'évaluation de la valeur diagnostique des différents examens d'imagerie à disposition, dans le but de proposer un algorithme diagnostique lors d'une suspicion de non consolidation.

Nous réaliserons une démarche similaire pour la pseudarthrose du rachis lombaire, ayant une présentation clinique et radiologique différente de celle de la pseudarthrose cervicale.

Enfin nous évaluerons le parcours socio-professionnel des patients pris en charge pour pseudarthrose, aspect n'ayant jamais été étudié jusqu'à présent à notre connaissance.

Le but de ce travail de thèse est ainsi de chercher à comprendre l'évolution des patients opérés d'une arthrodèse rachidienne compliquée de pseudarthrose, et de proposer des pistes de prise en charge dans le but d'améliorer nos pratiques et leur pronostic.

I) Diagnostic de la pseudarthrose après arthrodèse cervicale

1) Résumé

Introduction :

La pseudarthrose après arthrodèse uni- ou multiétagée du rachis cervical est une des principales complications de cette chirurgie, diminuant considérablement son résultat fonctionnel. Le but de cette étude est d'évaluer la pertinence des différents examens d'imagerie dans la démarche diagnostique, l'enjeu étant d'éviter une thérapeutique chirurgicale inadaptée et des examens complémentaires excessifs.

Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude rétrospective, multicentrique sur tous les patients pris en charge pour pseudarthrose du rachis cervical entre 2008 et 2018. Nous avons évalué les examens d'imagerie réalisés pour chaque patient, et défini la présence ou non de signes de pseudarthrose sur chacun d'eux.

Résultats

Cette étude inclut 45 patients répartis sur 4 centres, dont 55% de femmes, un âge moyen de 48 ans (+/- 8,0) et 57% de tabagiques. La radiographie statique est réalisée dans chaque cas, dont 55% montrent des signes de pseudarthrose. Les clichés dynamiques sont réalisés chez 34% des patients, et montrent une hypermobilité du niveau dans 80% des cas. La tomодensitométrie est à 97% en faveur du diagnostic. L'imagerie par résonance magnétique est en faveur d'une pseudarthrose à 48%. Une scintigraphie couplée au scanner est positive pour chaque cas de pseudarthrose.

Discussion

Les radiographies dynamiques sont peu prescrites mais apportent une mesure objective de l'hypermobilité du niveau en pseudarthrose à une forte incidence justifiant sa réalisation en première intention. Le scanner en coupes millimétriques est un examen fiable pour le diagnostic. L'IRM n'est à réserver qu'une fois le diagnostic fait, dans le cadre du bilan pré-opératoire. L'imagerie nucléaire permet de solutionner les cas douteux, en dernière intention.

Conclusion

Lors d'une suspicion de pseudarthrose du rachis cervical, nous préconisons une démarche diagnostique basée sur les radiographies dynamiques en hyperflexion, hyperextension et la tomodensitométrie en première intention.

2) Abstract

Introduction:

Non-union is one of the main complications of single- or multi-level cervical spine fusion, considerably impairing functional results. The aim of this study was to evaluate the respective contributions of imaging examinations in the diagnostic process, the challenge being to avoid inappropriate surgery and unnecessary complementary examinations.

Material and method

A retrospective multicenter study included all patients managed for cervical spine non-union between 2008 and 2018. We evaluated the imaging examinations performed on each patient and determined signs of non-union in each image.

Results

The study included 45 patients in 4 centers: 55% female; mean age, of 48 ± 8.0 years; 57% smokers. Systematic static radiography showed signs of non-union in 55% of cases. Dynamic X-ray was performed in 34% of patients, and showed hypermobility of the level in 80% of cases. CT supported diagnosis of non-union in 97% of cases, and MRI in 48%. SPECT-CT was positive in all cases of non-union.

Discussion

Dynamic X-ray is rarely prescribed, but frequently provided an objective measure of hypermobility of the level in non-union, justifying first-line use. Millimetric-slice CT was reliable for diagnosis. MRI is relevant only once diagnosis has been made, as part of preoperative work-up. Nuclear imaging in last line can solve doubtful cases.

Conclusion

In suspected cervical spine non-union, we recommend first-line diagnostic dynamic X-ray in hyperflexion and hyperextension and CT scan.

3) Diagnosis of reoperated cervical non-union : Multicenter retrospective study in 45 patients

Maxime Huneidi, Yves Ntilikina, Ibrahim Obeid, Benjamin Bouyer, Fahed Zairi, Marinho Paulo, Yann-Philippe Charles, Jean-Marc Vital, Olivier Gille, Louis Boissière

INTRODUCTION

Cervical spine fusion on an anterior approach is frequently performed for cervicobrachial neuralgia or myelopathy in cervical osteoarthritis.

Despite progress in technique and instrumentation, non-union remains a prime cause of failure in this surgery⁸, with incidence of 2.6-15.2%⁹. It is usually defined as absence of interbody bone fusion at 1 year or non-progression of the bone callus^{3,9-12}.

It is asymptomatic in 50% of cases⁸, but can result in recurrence of cervicalgia or radiculalgia or myelopathy after an immediate phase of postoperative improvement.

The major issue in case of such poor progression is precise diagnosis of non-fusion underlying pain. Pain may in fact be multifactorial, without involving consolidation defect, notably in case of adjacent syndrome, which affects up to 21% of patients undergoing fusion surgery in the long term¹³

Various diagnostic imaging examinations are available, with a gold-standard of surgical exploration revealing non-integration of material and abnormal mobility in the operated segment¹⁰.

In the absence of consensus on imaging,⁹ we examined the diagnostic approaches leading to surgical revision of non-union, in a retrospective study.

Material and method

A multicenter study included all patients undergoing surgical revision of non-union in 1- or 2-level anterior cervical fusion between August 1, 2008 and August 1, 2018. Exclusion criteria comprised ≥ 3 -level fusion, corpectomy and fusion in traumatic, infectious or tumoral contexts.

Study data comprised:

- Epidemiologic and clinical data: age at primary surgery, gender, body-mass index (BMI), smoking status, time to symptom onset, interval between surgeries, self-reported satisfaction after revision (symptom resolution, improvement with residual pain, no improvement).
- Surgical data: operated levels and number, type of cage, type of graft, plate (or not).
- Postoperative data: immobilization (yes/no) and duration.
- Radiologic data showing non-union and result:
 - Standard X-ray (non-consolidation: yes/no/neutral): signs comprised radiolucency between interbody cage and adjacent vertebral endplate, hyperlucency around screws (if used), hardware slippage on successive views at several months' interval, hardware breakage.
 - Dynamic X-ray (hypermobility: yes/no): >2mm change in interspinal distance between flexion and extension views ^{3,8-10,14}.
 - CT (fusion: yes/no/doubtful): hypodensity around implants, subsidence of adjacent endplates, osteolysis (1,3,5-8).
 - MRI (Modic classification): Modic-1 signal of adjacent plates (= non-union).
 - Bone-scan (fixation: yes/no)
 - SPECT-CT (bone-scan coupled to CT) (fixation adjacent to cage: yes/no).

Images were interpreted by 2 surgeons as positive, negative or neutral for non-union, based on the above criteria.

Descriptive statistics used mean values, percentages, and standard deviations on Excel ® software.

Results

45 patients undergoing revision surgery for cervical spine non-union were included.

Population characteristics, surgical and postoperative data (Table 1)

Table 1
Epidemiological data for primary surgery.

Mean age (years)	48.0 (± 8.0)
Mean BMI ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)	24.8 (± 4.3)
Smoking <i>n</i> (%)	25 (55.6%)
Center	Bordeaux: 26 (57.8%) Strasbourg: 10 (22.2%) Lyon: 5 (11.1%) Lille: 4 (8.9%)
1 level <i>n</i> (%)	27 (60%)
C4-C5 <i>n</i> (%)	5 (18.5%)
C5-C6 <i>n</i> (%)	14 (51.9%)
C6-C7 <i>n</i> (%)	6 (22.2%)
C7-T1 <i>n</i> (%)	2 (7.4%)
2 levels <i>n</i> (%)	18 (40%)
C4-C5 + C5-C6	8 (44.4%)
C5-C6 + C6-C7	10 (55.6%)
Anterior plate, <i>n</i> (%)	13 (28.9%)
Interbody material	
Cage with bone substitute	41 (91.1%)
Autologous iliac crest graft	4 (8.9%)
Cervical immobilization	
4–6 weeks flexible cervical collar	18 (40%)
None	27 (60.0%)
Onset of pain (months)	
Mean	15.9 \pm 21.3
Median	6.5 (0–96)

There was 55.6% female predominance. Mean age was 48.0 years. Most patients were smokers. Symptom onset was mainly within 1 year of primary surgery. Presenting symptoms were mainly disabling neck pain after a pain-free interval of several weeks, or, more rarely, cervicobrachial neuralgia.

Diagnostic examinations

Static X-ray

Static AP and lateral views were taken systematically.

55% of follow-up radiographs showed signs of non-union; 45% were neutral or showed good consolidation.

Dynamic X-ray (Figure 1)

Dynamic X-ray was performed in just 34% of cases. In case of non-union, 80% showed abnormal mobility between flexion and extension in the fused segment.

CT

CT was performed in 78% of cases. 97% of scans showed signs of non-union; 3% suggested consolidation.

MRI

MRI was performed in 53% of cases. 48% of scans showed signs of non-union: Modic-1 hypersignal in the operated level.

Nuclear imaging (Figure 2)

SPECT-CT was performed in 38% of cases. It was systematically positive, with hyperfixation in the non-union level. Isolated bone scan was not performed: its use seems to have been abandoned.

Revision surgery (Table 2)

Table 2
Revision surgery data.

Confirmation of diagnosis of non-union	Yes: 45 (100%) No: 0 (0%)
Clinical follow-up	Globally good: 36 (80%) Globally moderate: 5 (11.1%) Globally poor: 4 (8.9%)

All patients underwent surgical revision on an anterior approach, except for 1 case with combined approach due to endplate subsidence with local kyphosis and severe osteoporosis; complementary fixation was therefore performed to solidify the assembly.

Revision was at a mean 33.1 ± 27.5 months after primary surgery (range, 8-123 months). Mean interval between non-union symptom onset and revision was 18.8 ± 26 months (median, 10 months).

In 84% of cases, the new interbody implant was autologous iliac crest graft with anterior plate; in 16%, a cage was replaced by a cervical prosthesis.

Follow-up

Clinical results were good, with symptom improvement and resolution of pain in 80% of cases, moderate in 11.1%, and poor in 8.9%.

In good or moderate clinical progression, radiographic follow-up comprised simple static X-ray. 93.3% of patients showed consolidation.

DISCUSSION

Anterior cervical fusion is a common procedure with good results, but some long-term complications (adjacent syndrome, non-union) can jeopardize functional outcome.¹³ Non-union is rare: in 10 years, we found only 45 revision surgeries in what, to our knowledge, is the largest reported series.

The present series showed a 57% rate of smoking, compared to 35% in a “normal” population according to a 2018 study ¹⁶, while BMI was comparable. In a 2014 study, Lau showed smoking to be an independent risk factor for non-union after cervical corpectomy, in agreement with the present findings ¹⁷. In a 2016 literature review, Jackson likewise reported higher rates of non-union and infection in smokers after spinal and lumbar surgery¹⁸

The present population comprised 55% females and 45% males. Gender seemed not to be a factor, this sex ratio being comparable to those in other studies of primary spinal surgery. In the absence of a control group not undergoing revision over the same period, we referred to a 2018 series of 52,395 cervical spine fusions, which had a mean age of 53 years, with 48.6% males and 51.4% females ¹⁹.

Results for each examination were dichotomized as definite fusion versus definite non-union or doubtful fusion, considering further imaging unnecessary in the former but not in the latter.

In 71.1% of cases, non-union was treated by stand-alone cage, and by anterior plate in 28.9%. To draw any conclusion, however, would require comparison with all fusion procedures performed in the study centers in the study period.

In the present series, dynamic X-ray was associated to static X-ray in only 34% of cases, but was pathological in 80% of these cases. It is an inexpensive examination, and seems useful and sufficient if suspicion of non-union is weak or the patient shows only mild symptoms. A literature review by Oshina et al. (10) confirmed that the best way to establish fusion is to detect no mobility exceeding 2mm on dynamic X-ray; this threshold is the optimal diagnostic compromise, with 91% sensitivity and 89% sepecificity²⁰. One limitation in interpretation is image scale, calibration and deformation depending on how dynamic X-ray is performed, with risk of imprecise measurement.

Millimetric-slice CT is our gold-standard, and is widely used in the literature in this indication, showing 78.6-85.7% correlation with intraoperative assessment of fusion. ²¹

MRI is widely used in diagnosing the primary pathology, but showed only 48% sensitivity. T2 hypersignal was difficult to discern and interpret, because of implant-related artifacts. These findings are in agreement with the literature.

In a 2014 study, Gruskay et al.³ advocated MRI only for revision planning, to rule out recurrent or residual foraminal stenosis. Buchowski et al.²¹ reported a correlation coefficient of no more than 0.48 between MRI and intraoperative diagnosis.

However, although diagnostic performance for cervical non-union is poor, MRI is indispensable in planning revision, to determine relations with nerve tissue. Diagnostic applications, on the other hand, seem less indicated.

Bone scan is little used in our practice. With the development of nuclear medicine and the very high sensitivity of SPECT-CT, this is likely to be prescribed more often than it was during the present inclusion period. It is widely reported in diagnosis of lumbar non-union²². Interpretation needs to be cautious, as its high sensitivity is at the expense of specificity, with consequent risk of overdiagnosis. In case of strong clinical suspicion, on the other hand, with doubtful CT and absence of mobility on dynamic X-ray, SPECT-CT is certainly contributive. It can also identify differential diagnoses such as posterior arthropathy.²³ PET-CT has never been used for diagnosis of non-union; it is relevant more to diagnosis of chronic sepsis.²⁴

In more than 50% of cases, revision was performed more than 10 months after symptom recurrence, for a median 1 year 10 months after primary fusion. This may be due to the difficulty of diagnosis and reluctance to acknowledge failure and reintervene. Even so, the present revision surgeries showed positive results, with resolution or at least improvement of symptoms in 91% of cases.

We believe that revision for non-union often comes too late, with negative consequences for the patient both socially and occupationally, although this was not assessed in the present study.

On the other hand, Lee et al.¹¹, in a series of 29 patients with cervical spine non-union, found that 71% without fusion at 1 year had achieved fusion by 2 years, and suggested waiting 2 years before diagnosing non-union. This, however, jeopardizes social life and return to work in case of genuine non-union, and may be inadvisable.

Most of the present series had cages with bone substitute. Despite the low rate of non-union, primary prevention using iliac autograft should be considered.²⁵

In the vast majority of the present cases, the revision approach was anterior. In 2016, Elder reported excellent fusion rates with anterior and posterior approaches.²⁶

In a 2009 literature review, Kaiser disclosed a trend for more reliable fusion after posterior fixation, with better clinical results, although the methodological limitations of the studies precluded any firm conclusion.²⁷

Choice of approach is thus to be made on a case-by-case basis, according to bone stock in the level concerned.

The present study had certain limitations. It was retrospective, including only patients with surgical revision. Not all patients had the same complementary examinations, decreasing the power of the study by introducing a “center” effect. There was no control population, but only patients with surgical revision. Many asymptomatic patients with non-union were not assessed, as was also the case for symptomatic patients declining revision surgery. And lastly, the absence of standardized clinical follow-up scores hindered analysis of clinical results, although the study objective was primarily to detail diagnostic approaches, with a view to establishing consensus.

Despite all this, this was to our knowledge the largest series reported for cervical non-union with anterior revision.

The present findings suggest certain recommendations for complementary imaging to diagnose cervical non-union.

Standard follow-up: Cervical spine X-ray, and dynamic views in hyperflexion/hyperextension to measure change in interspinal distance.

In case of suspect images and symptomatic patient: Work-up completed by millimetric-slice CT.

In case of strong suspicion despite CT not suggesting non-union: Subsequent SPECT-CT check.

Conclusion

In case of recurrence of cervicgia after cervical spine fusion, symptom intensity may suggest non-union.

Although infrequent, this is one of the main causes of failure. Diagnosis is founded on 3 examinations: static X-ray, dynamic X-ray in hyperflexion and hyperextension, and millimetric-slice CT.

The combination of the 3 bears out diagnosis of non-union, rarely definitely confirmed by just 1 modality. SPECT-CT may sometimes decide the most complex cases. Screening on dynamic X-ray for interspinal distance differing by >2mm between flexion and extension is an inexpensive examination that is under-used, yet sensitive and specific.

Surgical revision is indicated only on clinical criteria but with radiologic concordance, and gives favorable results in more than 80% of cases.

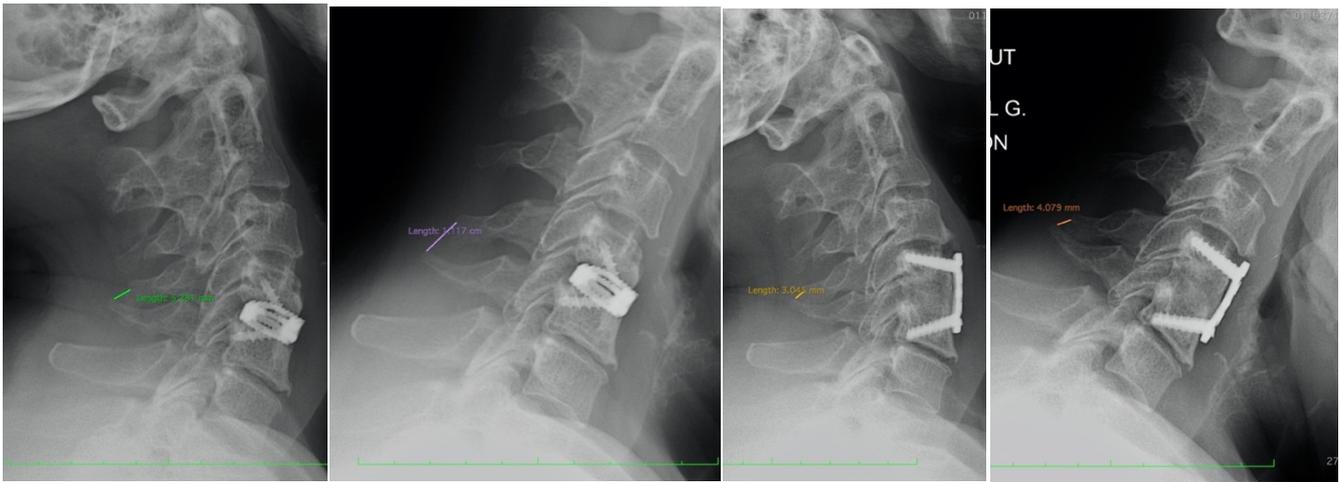


FIGURE 1 – 43 year-old female with C4-C5 fusion. At 11 months: dynamic X-ray showing 6mm mobility between views. Anterior revision by iliac graft: good radiological and clinical progression at 4 months (1 mm between hyperflexion and hyperextension: i.e., less than the 2 mm threshold)

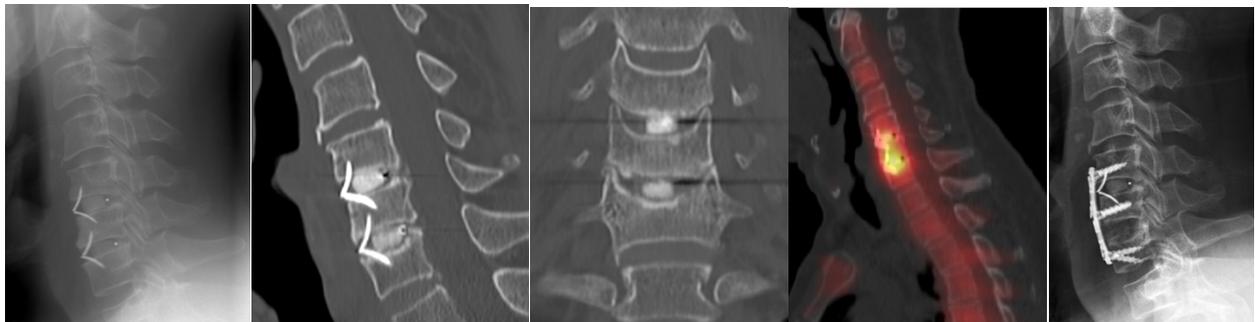


FIGURE 2 – 58 year old male with previous C5-C6 and C6-C7 anterior fusion. Recurrence of symptoms after 21 months and poor progression. X-ray and CT-scan suspected non-union of the C6-C7 cage. SPECT-CT was obtained in order to evaluate the need for surgical revision and revealed a hyperfixation only on the C6-C7 level. Revision surgery was performed via an anterior approach with a C6-C7 iliac crest graft and a C5-C7 anterior plate. Satisfactory results were obtained 6 months after revision procedure.

II) Diagnostic de la pseudarthrose après arthrodèse lombaire

1) Résumé

Design de l'étude

Etude rétrospective observationnelle

Objectifs

Le but de notre étude est de décrire l'évolution des patients entre la première chirurgie et la chirurgie de reprise, par évaluation de la manière dont le diagnostic a été obtenu et leur délai.

Contexte

Le gold standard diagnostique de la pseudarthrose lombaire est la constatation per-opératoire d'une persistance de mobilité par absence de fusion du niveau opéré. De nombreux examens existent sans démarche diagnostique consensuelle

Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude unicentrique sur tous les patients réopérés pour pseudarthrose après arthrodèse lombaire pour pathologie dégénérative sur 1 ou 2 niveaux, entre le 1 Aout 2008 et le 1^{er} Aout 2018.

Chaque examen réalisé pour le diagnostic est relu par un chirurgien et un radiologue, en définissant un statut en faveur du diagnostic de pseudarthrose, en défaveur ou neutre, en se basant sur les critères diagnostiques décrit dans la littérature. Nous étudions les associations d'examens réalisés et leur délai.

Résultats

44 patients sont inclus, dont 70,5% d'hommes avec un âge moyen de 47,3 ans. Le délai médian entre les 2 opérations est de 23,7 mois, et est maximal lorsque plusieurs examens en coupes sont réalisés avec une discordance entre eux dans le résultat. Les radiographies simples sont en faveur du diagnostic dans 38,7% des cas, les radiographies dynamiques montrent une hypermobilité dans 50% des cas mais sont rarement réalisées. Le scanner est en faveur d'une pseudarthrose dans 88,6% des cas. Un signal MODIC 1, non décrit dans la

littérature pour le diagnostic de pseudarthrose, est observé dans 83,3% des cas à l'IRM. Le SPECT-CT montre une hyperfixation dans 70% des cas.

Conclusion

La réduction du délai de réintervention est un objectif clé pour améliorer la prise en charge de ces patients. Nous recommandons l'utilisation de l'IRM en combinaison avec le scanner dans l'évaluation d'une suspicion de pseudarthrose mécanique, afin d'optimiser le diagnostic et de diminuer le délai de la reprise chirurgicale.

2) **Abstract**

Study design

Retrospective observational study

Objective

The aim of this study is to describe the patient's course between the primary surgery and the reoperation for pseudarthrosis by evaluating how was the diagnostic performed, and with which timeline.

Summary of Background

The gold standard of pseudarthrosis diagnosis remains per-operative observation of an absence of fusion by showing a persistence of mobility. Multiple exams are available without a consensual diagnostic approach.

Methods

This study is single-center (Bordeaux, France), and enroll patients reoperated for pseudarthrosis after lumbar 1 or 2 level fusions, between August 1, 2008 and August 1, 2018. The exams were reviewed by one surgeon and one radiologist, defining a status either in favor of pseudarthrosis, or against it, or neutral, based on the radiological criteria mentioned below. We then investigate combinations of exams requested and timing between them.

Results

44 patients are included, 70.5% male and with a mean age of 47.3 years. The median time between the 2 operations is 23.7 months, and is maximal when several cross-sectional exams are performed with discordance between them. Plain X-rays support the diagnosis in 38.7% of cases, dynamic X-rays show hypermobility in 50% of cases but are rarely performed. The CT scan is in favour of a pseudarthrosis in 88.6% of cases. A MODIC 1 signal, not described in literature for diagnosis of pseudarthrosis, is observed in 83.3% of cases on MRI. SPECT-CT shows hyperfixation in 70% of cases.

Conclusion

Reducing the time to reintervention is a key objective for improving the management of these patients. We recommend the use of MRI in combination with CT in the assessment of suspected mechanical pseudarthrosis, in order to optimize the diagnosis and shorten the time to revision surgery.

3) Contribution of MRI and imaging exams in the diagnosis of lumbar pseudarthrosis

Maxime Huneidi, Ibrahim Obeid, Camille Damade, Alice Boishardy, Jean-Marc Vital, Benjamin Bouyer, Olivier Gille, Louis Boissière

INTRODUCTION

Lumbar fusion is a common procedure widely described for lumbar degenerative spine treatment. Its two main long-term complications are adjacent syndrome and pseudarthrosis²⁸. Pseudarthrosis can be defined as lack of bone fusion 1 year after the procedure³. While the diagnosis of an adjacent syndrome is based on the radiographic analysis of the overlying intervertebral segment, the diagnosis of pseudarthrosis can remain an issue.²⁹

Pseudarthrosis leads to major disability and chronic pain and its rate differ according to the series. On a retrospective series of 2591 patients, Guppy et al. finds an overall 2 years reoperation rate for pseudarthrosis of 1.08%, 0.88% in 1 level arthrodesis and 0.91% in 2 level arthrodesis³⁰, while Irmola in 2018 finds that the first reoperation etiology is pseudarthrosis in the first 2 post-operative years (5.2%), followed by early adjacent syndrome (3.5%) and acute complications (2.5%).³¹

Various clinical symptoms can refer to pseudarthrosis. Most often a resurgence of a painful phenomenon with mechanical lumbar and/or radicular pain will evoke pseudarthrosis.³² On the other side it can also remain asymptomatic despite absence of evident fusion on imaging³³. The main issue is, when facing a painful patient, to relate his symptoms to the diagnostic of a pseudarthrosis versus other etiologies. The gold standard remains per-operative observation of an absence of fusion by showing a persistence of mobility. It is not feasible for diagnosis and multiple exams are available without a consensual diagnostic approach³: static radiography, dynamic radiography in flexion and extension, CT-scan, MRI or SPECT-CT. None of these exams has a sufficient predictive value to affirm a pseudarthrosis by itself. Sometimes all exams have similar results as other times the results can be opposite, which confuses the diagnostic.

The aim of this study is to describe the patient's course between the primary surgery and the reoperation for pseudarthrosis by evaluating how was the diagnostic performed, and with which timeline.

Material and method

This is a retrospective, single-center study (Bordeaux, France) reoperated for pseudarthrosis after lumbar 1 or 2 level fusions, between August 1, 2008 and August 1, 2018.

Exclusion criteria were fusions performed in a context of trauma, infection or tumoral pathology, and if there was a history a prior fusion lumbar surgery.

The following data were collected:

- Epidemiological: age at first surgery, sex, Body Mass Index (BMI), smoking status, time to onset of symptoms, interval between two surgical procedures
- Surgery: number and levels involved, use or not of a cage, type of graft, surgical approach (anterior, posterior, combined)
- Post-operative: immobilization (rigid brace, lumbar belt, absence) and duration
- Radiological exams used to diagnose pseudarthrosis and there result to recognize pseudarthrosis.

The exams were reviewed by one surgeon and one radiologist, defining a status either in favor of pseudarthrosis, or against it, or neutral, based on the radiological criteria mentioned below.

Standard X-ray (Anteroposterior (AP) and lateral view): implant rupture, absence of posterolateral graft areas, lysis around the screws, margin at the junction between the interbody cage and the adjacent vertebral endplate, were considered as signs in favor of a pseudarthrosis.^{3,33,34}

Dynamic X-rays: mobility in flexion/extension. The measurement technique used by Kuslich is based on the measurement of the Cobb angle difference of the fused level between hyperflexion and hyperextension images, with a chosen limit of 7° to define hypermobility³⁵

CT (fusion yes/no) : The following criteria's were in favor of a pseudarthrosis: absence of anterior and/or posterior bony bridge, presence of a subsidence around the implants, geodes adjacent to the vertebral endplates, hypodense area in the posterolateral fusion mass^{3,33,34,36,37}
MRI: MODIC changes were looked after. A Modic 1 signal, at the instrumented level, was considered as in favor of a pseudarthrosis, a Modic 2 against a pseudarthrosis and an absence of signal as neutral.

SPECT-CT (hyperfixation yes/no) ³⁸. Increased osteoblastic activity, in conjunction with the CT findings, at the arthrodesis level after one year from surgery, suggest pseudarthrosis,³⁹

Statistical analysis: Descriptive statistics were performed with percentage, mean and median

Results

44 patients surgically reoperated for pseudarthrosis after a 1 or 2 level lumbar arthrodesis were included in this study.

Population characteristics, surgical and post-operative data (Table 1)

There is a male predominance (70.5%) with an average age of 47.3 years (+/- 12.2) and a BMI of 26.4 (+/- 3.5). 63.6% of them are smokers. The most frequent operated level is L5-S1 in 40.9% of the cohort, followed by L4-S1 at 31.8%. At least one cage had been placed in 54.5% of cases. A posterior approach was performed in 84.1% of cases with a posterolateral bone graft locally collected. All patients with posterior approaches had autologous bone. Bone Morphogenetic Protein (BMP) was used for Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF) procedures.

TABLE 1

Mean age (years)	47,3 (+/- 12,2)
Sex	
- Male	31 (70,5%)
- Female	13 (29,5%)
Mean BMI (kg.m-2)	26,4 (+/- 3,5)
Smoking status	Oui : 28 (63,6%) Non : 16 (36,4%)
1 level operated	23 (52,3%)
- L5-S1	- 18 (40,9%)
- L4-L5	- 5 (11,1%)
- L1-L2	- 1 (2,2%)
2 levels operated	21 (47,7%)
- L4-S1	- 14 (31,8%)
- L3-L5	- 6 (13,6%)
Approach	
- Posterior	37 (84,1%)
- Anterior	7 (15,9%)
Interbody device	24 (54,5%)
- 1 cage for 1 level	16 (36,4%)
- 2 cages for 2 levels	4 (9,1%)
- Only 1 cage for 2 levels	3 (6,8%)
No cage	20 (45,5%)
- 1 level	8 (18,1%)
- 2 levels	13 (29,5)
Bone graft	
- Local	37 (84,1%)
- Iliac crest	5 (11,4%)
- Bone substitut	2 (4,5%)
Post-Operative Immobilization	
- Soft lumbar belt	26 (59,1%)
- None	15 (34,1%)
- Rigid brace	3 (6,8%)
Pain apparition (months)	
- Mean	31,7 (+/- 58,0)
- Median	12,0
- Minimum	0
- Maximum	276

Diagnostic tests performed

The median time of symptom occurrence is 12 months (+/- 20,2) On average, the revision was performed 43.2 months (+/- 58.9) after the first procedure. The revision time median is 23.7 months. Pseudarthrosis was confirmed in all cases.

Static X-ray

AP and lateral view X-rays were systematically performed during the follow-up in first intention. They showed signs of pseudarthrosis in 38.7% of cases, while 61.3% are neutral or in favor of good consolidation.

Dynamic X-rays

Dynamic X-rays are performed in only 13.6% of cases, representing 6 patients in the cohort of 45. Of these 6 radiographs, 3 showed hypermobility of the segment in pseudarthrosis and 3 did not show significant mobility.

CT-scan

Thin-section CT was performed in 79.5% of the cases. Of these, 88.6% of the patients showed positive signs of pseudarthrosis.

MRI

MRI is performed in 81.8% of patients. A MODIC 1 signal is observed in 83.3% of them.

Nuclear imaging

A bone scan or SPECT-CT is performed in about 10 cases and shows strong hyperfixation of the level in 70% of cases, and shows a pronounced hyperfixation of the area for 7 patients, a doubtful fixation with slight non-specific hyperfixation in 2 patients, no hyperfixation in 1 case.

Combination of performed exams (Table 2)

We then assessed which examinations were carried out in current practice to achieve the diagnosis of pseudoarthrosis. Several associations are thus identified, summarized in Table 2.

In our series, only 1 case is diagnosed by positive scintigraphy despite negative MRI and CT scans. For the other patients who did have this examination, at least the CT or MRI scan are already in favor of the diagnosis but scintigraphy was still performed.

1 patient had only a static X-ray. The finding of broken material led to the diagnosis of pseudarthrosis without any further additional investigation before the surgical revision.

When selecting only the cross-sectional imaging, 10 cases had discordant images, while the other cases had similar findings.

Table 2: Combination of performed exams

Association of exams	Patients (n)	Proportion of total (%)
X-ray + CT + MRI	21	47,7
X-ray + CT + MRI + SPECT-CT	6	13,6
X-ray + MRI	5	11,4
X-ray + CT	3	6,8
X-ray + dynamic X-ray + CT + IRM	3	6,8
X-ray + dynamic X-ray + CT + MRI + SPECT-CT	2	4,5
X-ray	1	2,3
X-ray + CT + SPECT-CT	1	2,3
X-ray + MRI + SPECT-CT	1	2,3
X-ray + dynamic X-ray + MRI	1	2,3

Reoperation time (TABLE 3)

The median time between the 2 surgeries was 23.4 months +/- 27.6.

There is important variability in this delay.

The median time to reintervention is highest when 2 cross-sectional scans are requested with conflicting results.

Table 3: Requested exams and reoperation time

Exams	Patient (n)	Reoperation time (months) Median, SD
X-ray alone	1	6,2 +/- 0
X-ray + 1 exam	8	16,9 +/- 26,8
X-ray + 2 exams in accordance to diagnosis	19	26,3 +/- 41,2
X-ray + 2 exams with discordance to diagnosis	5	37,7 +/- 24,4
X-ray + 3 exams or more	11	24,3 +/- 7,8

DISCUSSION

Pseudarthrosis after 1 or 2 level fusion, for degenerative etiologies, is a are complication and with 44 revised patients included in the current study it is to our knowledge the largest series described. A 10 years' time period was needed to provide this series. With the predominance of young (47 +/- 12.2 years old) smokers (63.6%.) male (70.4%) fused to the sacrum (72 %) our population seems comparable to then other series.

A study conducted by Brown in 1986 already showed a rate of pseudarthrosis of 40% in smokers versus only 8% in non-smokers in a case-control study on arthrodesis-decompression on 2 spinal levels finding 24 pseudarthrosis ⁴⁰.

Phan in 2017 also found a significantly higher fusion rate among non-smokers in a retrospective study of 137 ALIF with 24 pseudarthrosis. ⁴¹

The demography of our population is young and male Donnally in 2019, in a series of 150 patients undergoing surgery for lumbar arthrodesis, found a pseudarthrosis rate of 3.3% (5/150), an average age of 63.1 years with 51.3% of the patients being male. L5-S1 level, junction between the fixed sacrum and the mobile lumbar spine, is subject to high shear stresses.

However, it remains one of the most common long-term major complications causing pain and disability for the patient. All surgical procedures can be affected by pseudarthrosis. In this series we can observe ALIF procedures with BMP use, posterior procedures with and without cages with autologous bone. The diagnosis is difficult because of the low specificity of the symptoms and the subjectivity of the radiological signs being looked for. These

difficulties lead to late revision surgeries which can impact social and personal life due to chronic pain.

The median time between the 2 interventions is 23.4 months. A study published by Irmola show a mean time of 17 months for reoperations related to pseudarthrosis after lumbar fusion.³¹

By associating this delay with an early recurrence of symptoms and the definition accepted in the literature of 1 year, we can only reinforce the idea of a faster diagnostic approach when faced with symptoms suggestive of pseudarthrosis.

Our diagnostic remains accurate as the diagnostic was confirmed in all cases, but we need to put in evidence these situations earlier. The definition of pseudarthrosis as an absence of bone consolidation 1 year after surgery³ doesn't seem appropriate as more than half of the patients are symptomatic during the first year following surgery. All symptoms resurgence of back and/or leg pain after an initial favorable recovery should evoke pseudarthrosis.

Five radiographic exams were performed but only 4% of the time all these exams were needed to end up at the diagnostic. Static X-ray is a classic follow-up examination and was performed in all cases. Its sensitivity is poor with 38% of radiographies in favor of a non-union and this observation is consistent with previous report with a high rate of false negatives and a correlation with the status of intraoperative consolidation ranging from 43 to 82% according to the studies.⁴³ When a nonunion is clinically suspected more exams are needed.

Most of the time CT scan was realized next and its sensitivity is 88.6%. It is the most admitted exam in the literature to investigate pseudarthrosis when performed in thin sections.^{44,45} Subsidence and osteolysis signs may appear as early as 3 months postoperatively. At 6 months, the arthrodesis should already be able to show signs of almost acquired consolidation.⁴⁵ Our study thus confirms the usefulness of CT-scan in the diagnostic process with low rates of false negatives. CT-Scan is also a great exams to evaluate implant position when a revision surgery is raised.

MRI is performed in more than 4 out of 5 patients and provides an excellent evaluation of the neurological tissue. It also allows a precise assessment of the adjacent level in order to eliminate any differential diagnosis. MRI is less used in this context, with the main historical argument being susceptibility to metallic artefacts related to the presence of material.^{3,37,45} However, new sequences allowing attenuation of the metal signal have been poorly studied.⁴⁶ A MODIC 1 signal, i.e. a T2 peridiscal hypersignal associated with a T1 hyposignal of the operated level is found in 83.3% of cases. From a pathophysiological point

of view, the most probable hypothesis is a reactive inflammation to the pseudarthrosis, due to the abnormal micro-movements caused.⁴⁷ However, this observation is not reported in the literature. Lang in 1990 described for the first time the inflammatory signal of an unconsolidated level in 14 patients with pseudarthrosis. Kröner in 2006 evaluated the MRI images of 52 patients after PLIF. The signs sought to assess the fusion status were bone bridges across the cage and a hyposignal at the junction between the cage and the vertebral plateau, found in 6 patients in his series. However, Modic signal was not evaluated. The use of MRI and Modic's classification to judge the consolidation status of an arthrodesis has therefore never been described. Our patient population of 44 patients includes 36 patients who may have had an MRI, 30 of whom show a MODIC 1 signal. This sign therefore appears to be reliable and relevant for diagnosis by increasing positive predictive value. The new MRI sequences and the biomaterials used make it possible to overcome or at least considerably reduce the artefacts caused by the material applied. An inflammatory MRI signal more than 6 months after arthrodesis, in our opinion, can be considered as a sign of fusion delay, and avoid the need for a CT scan. A nuance or limit to be added is the potential presence of a pre-operative MODIC 1 signal. Indeed, this signal may persist over time before evolving into a fibrotic signal. In the case of a preoperative inflammatory signal on the operated level, then the interpretation of the postoperative signal may be subject to discussion depending on the time required for the examination and the clinical symptoms observed.⁴⁸

Nuclear imaging is rarely performed in our practice, in this series in 1 of 4 patients. The literature concerning the use of SPECT-CT is poor, but this exam seems promising. It might not be performed at first, but it might be helpful when other first-line examinations are not contributive.

Some complex cases are eligible for it, especially in the case of a radio-clinical discrepancy or a doubtful situation. Few studies have explored the contribution of SPECT-CT to diagnosis, but it appears to increase sensitivity compared to CT alone.³⁸ The 18-FDG PET-CT will give arguments in case of suspicion of septic pseudarthrosis, late infection.²⁴

Dynamic X-ray are rarely used in our practice. Its sensitivity seems to be lower than that of cervical pseudarthrosis.²⁹ Bono et al, using a finite element model, shows that persistent mobility could exist despite correct fusion, and angular motion depends on the type of surgery (posterior, anterior).⁴⁹ Despite this, it is a easy test to perform and its place as a first-line examination at the same time as the static x-ray is quite justifiable.

It is difficult to establish a link between the number of examinations requested, their discrepancy and the time taken to reintervention. However, it is observed that this delay is at its maximum when 2 cross-sectional exams are requested with discordant results. A larger series would be needed to assess a significant relationship between the number of exams and duration of management.

This study presents some limitations. It is a retrospective study, with no comparison to a consolidated subject group. It is a descriptive study with no clinical data but few specific series on pseudarthrosis have specifically described. Regarding our observations the authors recommend for the diagnostic of pseudarthrosis the timeline.

1. Standard lumbar and dynamic flexion and extension X-rays for the systematic follow-up.
2. CT-Scan with millimeter section and/or MRI: the choice might depend on the other purposes such as screw positioning, adjacent segment evaluation. The Modic 1 signal on MRI is very specific of non-union.
3. If doubt persists the SPECT-CT seems promising and might be a decision maker for difficult cases.

CONCLUSION

The diagnosis of lumbar pseudarthrosis is complex and involves a major decision, i.e. a surgical reoperation. MRI is a specific examination, allowing the diagnosis in case of appearance or persistence of a MODIC 1 signal at the operated level. The CT scan allows an accurate evaluation of the condition of the material and the SPECT-CT can be reserved for complex cases with non-contributory MRI. We do not recommend the use of dynamic radiographs alone in the diagnostic process.

The diagnostic process seems to be too long, so an acceleration of management can only be encouraged in order to avoid any too late re-intervention, which probably affects negatively the functional prognosis of patients.

FIGURE 1 - Preoperative MRI with no Modic signal, 1 year follow-up Radiography with no signs of instability or failure. The CT-Scan shows intradiscal bubble at L5-S1 level in favor of a pseudarthrosis which is also found on the MRI with the apparition of a Modic 1 signal.

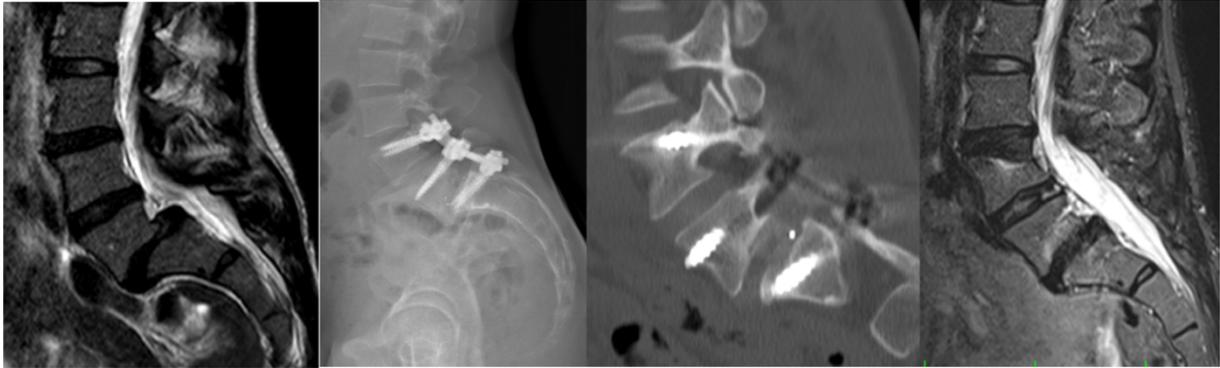


FIGURE 2 Exams in accordance, Loosening screws on CT and X-rays, Modic 1 Signal around screws

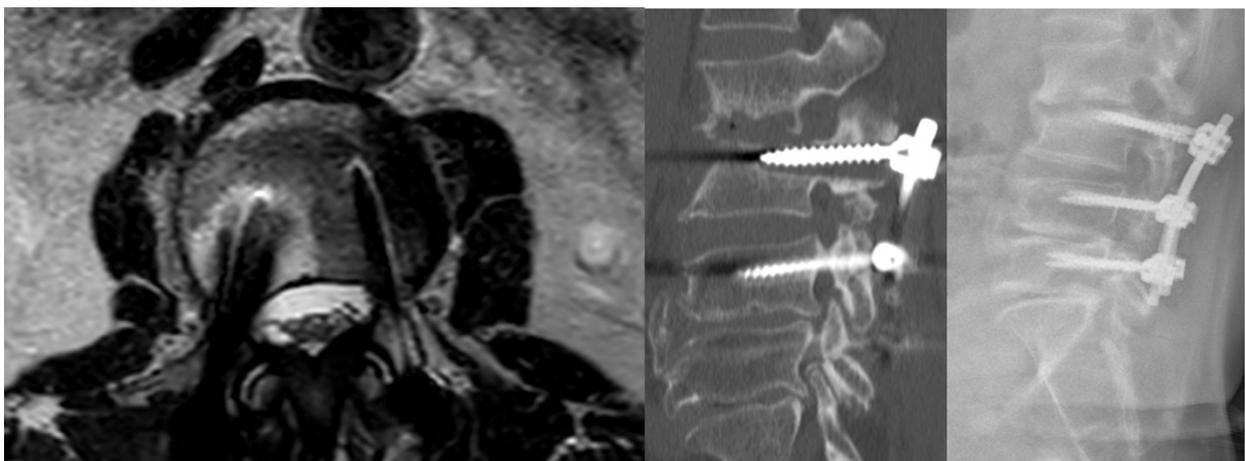
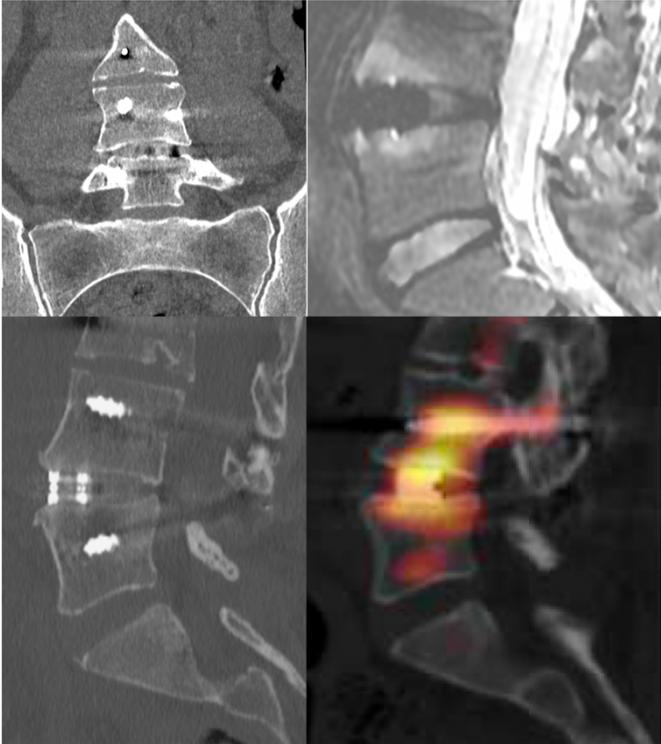


FIGURE 3 – Discordant exams : CT showing signs of fusion. MRI shows MODIC 1 signal around the interbody device. A SPECT-CT is performed and demonstrates hyperfixation at the operated level.



III) Retentissement socio-professionnel de la pseudarthrose rachidienne

1) Résumé

Introduction

La pseudarthrose est une des principales complications de l'arthrodèse rachidienne. Peu d'études ont évalué le retentissement de la pathologie sur la vie du patient. Nous cherchons à décrire l'évolution de leur vie sociale, professionnelle et sportive ainsi que leur ressenti sur leur prise en charge.

Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude rétrospective unicentrique sur les patients réopérés pour pseudarthrose après arthrodèse cervicale ou lombaire sur 1 ou 2 niveaux. Un questionnaire téléphonique est effectué chez tous les patients en âge de travailler au moment de l'opération princeps.

Résultats

36 patients sont inclus. Le délai moyen de reprise chirurgicale est de 28 mois. 72% de la cohorte consomme quotidiennement des antalgiques après leur prise en charge avec une EVA moyenne de 6,1/10. 46% ont pu reprendre une activité professionnelle, 77,8% ne pratiquent plus d'activité sportive. La chirurgie n'améliore pas la vie sociale des patients. Une majorité de patients reste satisfait de leur prise en charge.

Discussion

L'évolution socioprofessionnelle après pseudarthrose rachidienne est péjorative, avec des résultats fonctionnels inférieurs à attendus. La décision de reprise chirurgicale pourrait être prise plus tôt au vu de l'évolution très rapidement péjorative des patients. La qualité de vie après prise en charge n'est pas satisfaisante pour les patients, sur les plans des loisirs, de la vie sportive, familiale, sociale et des douleurs.

Conclusion

Notre étude permet de décrire l'évolution socio-professionnelle des patients atteints de pseudarthrose rachidienne et d'émettre des propositions d'amélioration de sa prise en charge.

2) Pseudarthrose après chirurgie du rachis : Evaluation de son impact sur le parcours social et professionnel des patients

Huneidi M, Rigoard P, Obeid I, Bouyer B, Damade C, Boishardy A, Vital JM, Naiditch N, Gille O, Boissiere L

INTRODUCTION

La pseudarthrose du rachis après chirurgie d'arthrodèse cervicale ou lombaire est une des principales complications de cette intervention. Son incidence varie selon les études mais peut atteindre 2,6 à 15,2% des patients selon les séries existantes.⁹

L'évolution clinique la plus fréquemment décrite est une récurrence des symptômes douloureux après une période d'amélioration initiale. Une fois diagnostiquée, son traitement est chirurgical, basé sur différentes techniques visant à renforcer la greffe osseuse et obtenir une fusion.

Cette complication semble cependant avoir un retentissement important non seulement sur le plan de la douleur et de la fonction mais aussi sur le plan psychologique, social et professionnel. Pennington (2019), sur une étude comparative cas témoin comportant 11 patients en pseudarthrose rachidienne, montra une moins bonne amélioration des douleurs et des scores de dépressions après chirurgie de reprise qu'après chirurgie princeps sans complication⁵⁰. Adogwa en 2011 réalisa une étude rétrospective sur 47 patients atteints de pseudarthroses lombaires, et s'intéressa notamment à la reprise du travail, en moyenne à 4 mois après la reprise et concernant 85% des patients.⁵¹ Cette donnée contraste avec les résultats d'Albert en 1999 qui avait un taux de reprise du travail de seulement 57% sur 23 patients en pseudarthrose lombaire.⁴³ Dede (2011) montra une discordance entre l'indication chirurgicale première sur les résultats de reprise. Ainsi, si l'indication était initialement un spondylolisthésis, alors la reprise pour pseudarthrose donnait de meilleurs résultats que si l'indication était une dégénérescence discale dégénérative.⁵²

Un patient nécessitant une chirurgie rachidienne a fréquemment dans notre pratique un parcours grevé d'arrêts de travail avec échec d'une prise en charge médicale et rééducative parfois mise en place depuis plusieurs années. L'intervention chirurgicale marque alors une

étape dans ce parcours, dont un des buts principaux, au-delà de l'amélioration des symptômes douloureux, est de permettre aux patients de pouvoir reprendre leur activité professionnelle et mener une vie non rythmée uniquement par les symptômes douloureux rachidiens.

Les patients réopérés pour pseudarthrose ont par définition une nouvelle chirurgie qui n'est pas planifiée. L'impact de cet imprévu peut potentiellement marquer un tournant dans leur vie socio-professionnelle, pouvant survenir plusieurs années après la chirurgie princeps.

Cet impact est probablement multifactoriel et mélange le rapport au travail et le modèle social du pays, dont le caractère protecteur ou non pourrait influencer cette évolution. Notre étude cherche à évaluer la relation entre le parcours de soins de ces patients et leur parcours social et professionnel se déroulant en parallèle. Pour cela, nous réalisons une étude descriptive sur les patients pris en charge pour pseudarthrose post-opératoire après chirurgie du rachis.

Matériel et méthode

Il s'agit d'une étude rétrospective unicentrique portant sur tous les patients ayant nécessité une reprise chirurgicale pour pseudarthrose du rachis cervical ou lombaire. Les critères d'inclusion sont : 1 seule chirurgie d'arthrodèse réalisée sur 1 ou 2 niveaux au niveau du rachis cervical ou lombaire, chez patient de moins de 60 ans au moment de la première chirurgie, ayant nécessité une reprise chirurgicale pour pseudarthrose diagnostiquée sur imagerie et confirmée en per-opératoire.

Les critères d'exclusion sont : arthrodèse réalisée dans le cadre de traumatologie, de pathologie tumorale ou infectieuse, arthrodèse de 3 niveaux ou plus, les corporectomies, patients multiopérés.

Les données suivantes ont été collectées :

- Épidémiologiques : Âge au moment de la chirurgie, sexe, indication opératoire
- Parcours chirurgical : Date de la première chirurgie, date de la deuxième chirurgie
- Parcours de soins : Date des différentes consultations de suivi, réalisation de kinésithérapie, durée d'hospitalisation, complication
- Évolution des symptômes : période de rémission des symptômes, délai de réapparition de douleurs

- Evaluation de la douleur en utilisant l'échelle visuelle analogique
- Examens diagnostics réalisés

Puis nous avons réalisé un questionnaire téléphonique avec les patients répondant aux divers critères d'inclusion, portant sur le rapport du patient entre sa pathologie et sa vie professionnelle, sociale, sportive, sa capacité à réaliser des activités de base, sa satisfaction des différentes opérations.

Le questionnaire complet est en annexe.

Une analyse statistique est réalisée ensuite, descriptive sur la série de patient obtenue.

Les analyses comparatives en sous-groupes sont effectuées en réalisant un test de Mann et Whitney (distribution non normale des valeurs). Nous utilisons un risque alpha de 0,05.

Résultats

46 patients répondent aux critères d'inclusion de l'étude, sur une période s'étalant du 1/01/2000 et le 1/01/2020. 36 patients ont pu être inclus et 10 patients ont été exclus (9 perdus de vue et 1 refus de participation). L'âge moyen de 52 ans (+/- 10, 20-69) au moment de l'inclusion et 45 ans (+/- 10, 14-59) au moment de la chirurgie initiale. Le sexe ratio est de 1 (18 femmes et 18 hommes). 67% des patients sont pris en charge pour pseudarthrose après arthrodèse lombaire, 33% après chirurgie d'arthrodèse du rachis cervical.

64% des patients étaient tabagiques avant la première intervention. Suite à leur prise en charge, ils ne sont plus que 33%. Parmi les patients toujours tabagiques, ils sont 47% à avoir toutefois diminué leur consommation.

1) Parcours de soin

1^{ère} chirurgie (TABLEAU 1)

Le délai moyen entre le début des symptômes et la 1^{ère} consultation est en moyenne de 10 mois (+/- 12, 1-48). Nous retrouvons dans les indications pour le rachis lombaire une majorité de spondylolisthésis (33,3%) et pour le rachis cervical de névralgie cervico-brachiale (83,3%). La durée d'hospitalisation est supérieure pour les arthrodèses lombaires que pour les

arthrodèses cervicales (6,1 versus 2,3 jours). Pour le rachis cervical nous ne retrouvons pas de complications péri-opératoires précoces et pour le rachis lombaire 3 patients (12,5%) ont été repris pour une malposition d'implant.

TABLEAU 1 – Données de la première chirurgie

Délai entre symptômes et 1 ^{ère} consultation (mois)	10 (+/- 12, 1-48)
Indication chirurgicale lombaire	<ul style="list-style-type: none"> - Spondylolisthésis : 10 <ul style="list-style-type: none"> o Lyse isthmique : 8 o Dysplasique : 1 o Arthrosique : 1 - Discopathie inflammatoire : 5 - Canal lombaire rétréci : 5 - Hernie discale avec discopathie: 2 - Kyste articulaire : 1 - Sténose foraminale arthrosique : 1
Indication chirurgicale cervical	<ul style="list-style-type: none"> - Névralgie cervicobrachiale : 10 - Myélopathie cervicoarthrosique : 2
Durée hospitalisation (jours)	<p>Arthrodèses lombaires : 6,1 +/- 3,8 jours</p> <p>Arthrodèses cervicales : 2,3 jours +/- 0,6 jours.</p>
Complications périopératoires	<ul style="list-style-type: none"> - Reprise pour malposition implant : 3 - Radiculite post-opératoire : 1 - Brèche dure-mérienne : 1 - Déficit moteur radiculaire : 1

Suivi (TABLEAU 2)

La période entre la 1^{ère} chirurgie et la reprise pour une pseudarthrose comprend une moyenne de 3,9 consultations (+/- 1,2 ; 2-8) et 3,3 examens d'imagerie ont été réalisés pour aboutir au diagnostic (+/- 1,0 ; 2-5).

La première consultation postopératoire est en moyenne à 2 mois de la chirurgie (+/- 0,9 ; 1-5), à la suite de laquelle une récurrence ou persistance des symptômes est relatée pour 63,9% des patients. Un examen d'imagerie supplémentaire est demandé pour 4 patients (11,1%).

La 2^{ème} consultation survient en moyenne 12,3 mois (+/- 19,4 ; 1-95) après la 1^{ère} consultation, soit à 14,3 +/- 19,8 (1-100) de la chirurgie. A ce moment-là 77,7% des patients

sont symptomatiques. Un examen d'imagerie est prescrit pour 10 patients (27,8%), une décision de reprise chirurgicale pour 2 patients.

A la 3^{ème} consultation, réalisée en moyenne à 23,2 mois (+/- 26,7 ; 2-105) de la première opération, 100% des patients présentent les symptômes douloureux, et une décision de reprise est faite pour 12 patients, la poursuite d'investigation par imagerie étant choisie pour 10 patients.

Une 4^{ème} consultation, réalisée chez 22 patients en moyenne 3,1 mois (+/- 2,9 ; 1-10) après se conclure sur la décision de reprise pour 13 patients. 11 patients ont d'autres consultations (entre 5 et 8) avant la décision de reprise.

47% de la cohorte change de chirurgien entre la première et la seconde intervention. 22% des patients changent de service ou d'hôpital entre les 2 chirurgies.

TABLEAU 2 – Suivi post-opératoire de la première chirurgie

Consultation	Délai (mois) avec chirurgie	Délai (mois) avec précédente consultation	État clinique	Mesures réalisées
1	2 (+/- 0,9 ; 1-5)		Rachialgie : 14 Radiculalgie : 8 Autres symptômes : 2 Bonne évolution : 12	Poursuite du suivi : 19 Kinésithérapie : 13 IRM/TDM : 4
2	14,3 +/- 19,8 (1-100)	12,3 (+/- 19,4 ; 1-95)	Cervicalgie/lombalgie : 22 Radiculalgie : 6 Bonne évolution : 8	Poursuite du suivi : 18 IRM/TDM : 10 Infiltration : 1 Rééducation : 5 Décision reprise : 2
3	23,2 +/- 26,7 -2-105	9,1 +/-15,3 (1-74)	Diagnostic radiologique en faveur : 8 Diagnostic confirmé : 12 Cervicalgie/lombalgie : 5 Radiculalgie : 9	Décision reprise : 12 IRM/TDM : 10 Scintigraphie : 2 Rééducation : 4 Consultation psychiatre : 1 Infiltration : 1
4	15,9 +/- 10,7 (5-46)	3,1 +/-2,9 (1-10)	Diagnostic confirmé : 13 Diagnostic douteux : 2 Diagnostic en faveur : 4 Persistance des symptômes : 3	Décision reprise : 13 IRM/TDM : 3 Scintigraphie : 3 Poursuite du suivi : 3

TABLEAU 2bis – Suivi post-opératoire 1^{ère} chirurgie

Nombre de consultation avant reprise	3,9 +/- 1,2 ; 2-8
Nombre examens d'imagerie réalisés pour le diagnostic	3,3 +/- 1,0 (2-5)
Nombre de patients nécessitant > 4 consultation	11
Changement de chirurgien	17 (47%)
Changement d'hôpital	8 (22%)

2^{ème} chirurgie

Le délai entre 1^{ère} chirurgie et reprise pour pseudarthrose est de 28,0 mois (+/- 24,7 ; 7-106).

La durée d'hospitalisation est de 4,6 jours (+/- 3,7 ; 2-21).

3 complications sont observées (8,3%), un syndrome de Brown Sequard, une cruralgie déficitaire, et une brèche de dure-mère ayant nécessité une reprise chirurgicale précoce.

2) Douleur

La douleur actuelle des patients de notre cohorte, évaluée via l'échelle visuelle analogique, est en moyenne de 6,1/10 (+/- 2,6 ; 0-10). Celle-ci a diminué ou disparu pour 58,3% des patients, et est identique ou plus intense chez 41,7% d'entre eux.

L'EVA moyenne est de 5,7/10 pour les patients opérés du rachis lombaire, et de 6,9 pour les patients opérés du rachis cervical. La totalité des patients dont l'indication initiale est une discopathie inflammatoire du rachis lombaire décrivent une douleur identique à celle initiale, ou plus intense. Dans ce sous-groupe, l'EVA moyenne actuelle est de 8/10.

Celle-ci entraîne une consommation de médicaments antalgiques quotidiennement pour 72,1% de la cohorte (13,8% de palier 3, 25% de palier 2 et 33,3% de palier 1).

Dans le suivi post-reprise, nous comptons 50% d'évolution défavorable (persistance ou récurrence des douleurs) et 50% d'évolution globalement favorable (diminution ou disparition des douleurs) au dernier suivi, en moyenne à 9 mois (+/- 17). La prise en charge de ces douleurs est alors principalement conservatrice (Centre anti-douleur ou de rééducation,

infiltration, kinésithérapie). Une reprise est réalisée pour 1 patient présentant un syndrome adjacent.

Concernant la kinésithérapie, la totalité des répondants en ont réalisé à un moment de leur prise en charge, mais au moment du questionnaire ils ne sont 31,7% à réaliser des séances régulièrement.

3) Vie professionnelle (TABLEAU 3, ANNEXE 2)

55,6% des patients ont arrêté leurs études avant le baccalauréat. 44,4% de la cohorte est dans la catégorie socio-professionnelle employé.

39% des patients étaient déjà en arrêt de travail au moment de la chirurgie, en moyenne depuis 28,5 mois (+/- 54,9 ; 0,5 – 216) avec une médiane de 6 mois. Seulement 50% de la cohorte était active professionnellement.

46% des patients ont repris le travail après la 1^{ère} intervention. Chez les patients initialement actifs (50%), le taux est de 67%. Chez les patients non actifs, il est de 24%.

Les patients inactifs avant l'intervention reprennent significativement moins une activité professionnelle que les patients actifs ($p < 0,05$).

La reprise est en moyenne à 7,6 mois post-opératoire (+/- 6,7 ; 2-24) pour une durée moyenne de 11,8 mois (+/- 18,3 ; 1-60).

46% des patients ont pu reprendre leur activité professionnelle à la suite de la 2^{ème} opération. Cette reprise s'est faite à 12,6 mois post-opératoire (+/- 10,1 ; 2-36).

66,7% des patients bénéficient de la reconnaissance en qualité de travailleur handicapé. Ils estiment leur perte de revenus à 4,24 (+/- 4,0 ; 0-10) sur une échelle subjective. 47% d'entre eux perçoivent une pension d'invalidité, 8% l'allocation adulte handicapé.

Ainsi le niveau de vie est coté en moyenne à 4,1/10 du point de vue du confort financier.

TABLEAU 3 – Vie professionnelle

Niveau d'étude	Sans diplôme : 6 Brevet des collèges : 2 CAP/BEP: 12 Bac: 3 Bac + 2 : 10 Bac + 5 ou plus: 3	
Profession ou dernière profession	Employé : 16 (44%) Artisans/commerçants : 7 (20%) Profession intermédiaire : 5 (14%) Ouvrier : 4 (11%) Cadre : 3 (8%) Agriculteurs : 1 (3%)	
Situation professionnelle avant la première intervention chirurgicale	Total	Actif : 18 (50%) Arrêt de travail : 14 (39%) Congé de longue maladie : 1 (3%) Invalidité de catégorie 1, 2 ou 3 : 1 (3%) Sans activité professionnelle : 2 (5%)
	Cervical	Actif : 7 Inactif : 5
	Lombaire	Actif : 11 Inactif : 13
Durée moyenne d'arrêt de travail avant chirurgie (mois)	Moyenne : 28,5 +/- 54,9 (0,5 – 216) Médiane : 6	
Reprise de l'activité professionnelle après 1 ^{ère} chirurgie	<u>Total</u> Oui : 17 (46%) Non : 19 (54%)	
	Chez patients actifs :	Oui : 12 (67%) Non : 6 (33%)
	Chez patients non actifs :	Oui : 4 (24%) Non : 14 (76%)
	<u>CERVICAL</u> Oui : 8 (66,7%) Non : 4 (33,3%)	
	Chez patients actifs :	Oui : 6 (85,7%) Non : 1 (14,3%)
Chez patients non actifs :	Oui : 2 (40%) Non : 3 (60%)	
		p < 0,05
		p < 0,05

	<u>LOMBAIRE</u> Oui : 9 (37,5%) Non : 15 (62,5%)	
	Chez patients actifs :	Oui : 6 (54,5%) Non : 5 (45,5%)
	Chez patients non actifs :	Oui : 3 (23,1%) Non : 10 (76,9%)
	p < 0,05	
Délai entre 1 ^{ère} chirurgie et reprise du travail (mois)	Moyenne : 7,6 +/-6,7 (2-24)	
Durée de maintien du travail après 1 ^{ère} chirurgie avant nouvel arrêt (mois)	11,8 +/- 18,3 ; 1-60	
Reprise du travail après 2 ^{ème} chirurgie	Oui : 17 (46%) Non : 19 (54%)	
Délai entre 2 ^{ème} chirurgie et reprise du travail (mois)	12,6 +/- 10,1 ; 2-36	
Dispositifs mis en place	Reclassement professionnel : 3 (8,3%) Aménagement de poste : 5 (13,9%) Reconnaissance en qualité de travailleur handicapé : 24 (66,7%) Aucune : 7 (19,4%)	
Compensations financières perçue	Aucune : 17 (47%) Pension d'invalidité : 14 (39%) Allocation adulte handicapé : 3 (8%) Autre : 2 (6%)	

4) Sport et loisirs (TABLEAU 4, ANNEXE 3)

Nous avons également évalué l'influence de la pathologie rachidienne sur la vie extra-professionnelle. Ainsi, la pathologie initiale handicapait la pratique de loisir avant les opérations, en moyenne de 7,1/10 (+/-3,3 ; 0-10). Au moment du questionnaire, ce score est similaire, à 7,1/10 (+/-2,9 ; 0-10).

Avant les opérations, 61,1% de la cohorte pratiquaient une activité sportive plus de 2 heures par semaine. Au moment du questionnaire, 77,8% des patients ne peuvent plus du tout la pratiquer.

TABLEAU 4 – Sport et loisirs

Pratique de sport avant 1 ^{ère} chirurgie	Non : 8 (22,2%) Oui, moins de 2 heures par semaine : 6 (16,7%) Oui, plus de 2 heures par semaine : 22 (61,1%)
Pratique de sport au moment du questionnaire	Non : 28 (77,8%) Oui, mais pas autant qu'avant : 6 (16,7%) Oui, plus qu'avant : 2 (5,6%)
Changement des activités sportives suite aux opérations	Oui : 27 (75%) Non : 9 (25%)

5) Vie familiale et sociale (TABLEAU 5, ANNEXE 4)

81% des patients étaient mariés ou en concubinage avant la première opération, ils sont 69% au moment de notre étude. Parmi les 11 patients de la cohorte dont la situation conjugale a changé, ils sont 45% à estimer que ce changement est en partie dû à leur pathologie rachidienne (5 patients).

L'impact de la pseudarthrose rachidienne sur la vie sociale est ensuite évalué. Initialement, l'influence de la pathologie sur les activités sociales est évaluée à 4,9/10. Suite à leur prise en charge, l'impact de cette pathologie est estimé à 4,7/10.

TABLEAU 5 – Vie familiale

Situation conjugale avant 1 ^{ère} chirurgie	Marié/concubinage : 29 (81%) Célibataire : 7 (19%)
Situation conjugale au moment du questionnaire	Marié/concubinage : 25 (69%) Célibataire : 10 (28%) Veuf : 1 (3%)
Changement de situation conjugale	Oui : 11 (30,6%) - Lié à pathologie rachidienne : 5 (45%) - Non lié à pathologie rachidienne : 6 (55%) Non : 25 (69,4%)

6) Satisfaction globale (ANNEXE 5)

Les patients estiment l'amélioration de leurs activités de base en moyenne à 4,1/10.

La satisfaction de la première chirurgie est, elle, évaluée à 4,3/10.

Seulement 53% des patients ont présenté une période d'amélioration post-opératoire transitoire. Parmi ces patients ayant eu une amélioration clinique, cette période d'accalmie a duré en moyenne 7,1 mois (+/- 15,1 ; 1-72). Les symptômes récidivants sont similaires au préopératoire pour 86% des patients, 44% des cas des radiculalgies et 42% des cervicalgies ou lombalgies.

La chirurgie n'a permis aucune amélioration dans la réalisation d'activités de base pour 13 patients (36%).

Mais globalement sur une échelle de 0 à 10, la satisfaction globale de la prise en charge est de 7,3/10, dont 38,9% des patients ayant évalué leur satisfaction à 10.

Ainsi, si toute leur prise en charge était à refaire, 69% de notre population répond oui.

En se focalisant uniquement sur les 8 patients ayant subi une complication (déficit neurologique, syndrome de Brown Sequard, nécessité de reprise chirurgicale précoce pour brèche dure mérienne ou malpositionnement d'implant), ils ne sont que 37,5% (n = 3) à répondre oui à cette dernière question.

Discussion

Notre étude permet une évaluation détaillée sur différents paramètres intéressants l'évolution sociale et professionnelle d'une cohorte de patients dont les suites post-opératoires d'une arthrodèse rachidienne sont émaillées d'un diagnostic de pseudarthrose. A notre connaissance, il s'agit de la première étude décrivant le retentissement socioprofessionnel que peut avoir cette fréquente complication.

1) Épidémiologie

Notre cohorte, âgée en moyenne de 45 ans lors de la chirurgie princeps avec un sex ratio équilibré. Guppy en 2020 sur une série de 2591 patients opérés d'une arthrodèse lombaire, retrouvait une prédominance de femmes (57,9%)³⁰. Une série de 159 arthrodèses cervicales par voie antérieure était composée quant à elle de 64% de femmes. Dede en 2015 sur une série de 66 patients pris en charge pour pseudarthrose lombaire, publie un taux de 68% de femmes.⁵²

2) Parcours de soins

L'indication opératoire initiale d'arthrodèse lombaire est pour 1 tiers des patients un spondylolisthésis par lyse isthmique. La lyse isthmique bilatérale est reconnue comme facteur de risque de pseudarthrose rachidienne⁵³, donc cohérent avec cette proportion.

Le parcours des patients entre les 2 chirurgies est constitué de plusieurs consultations. On remarque qu'une symptomatologie douloureuse est encore ou déjà présente pour 63,9% des patients à la première consultation post-opératoire. Pour 41,7% des patients, la douleur n'a jamais cédé après l'intervention, même en postopératoire immédiat. On identifie ainsi un profil de patient dont l'évolution est très rapidement voire immédiatement péjorative.

La pseudarthrose est définie comme l'absence de fusion 12 mois après arthrodèse.³ Dans notre étude, le délai avant reprise chirurgicale est en moyenne de 28 mois.

En associant ce délai avec le fait que la majorité des patients présente une évolution rapidement défavorable, le patient passe une période de plus de 2 ans, dans un état clinique similaire à celui préopératoire voire dégradé, sans solution évidente et parfois en errance diagnostique.

Cette persistance de symptômes peut donc être à l'origine du risque d'impossibilité de reprise du travail ou de désocialisation par difficulté à tenir en position assise de manière prolongée en collectivité.

On remarque un changement de chirurgien pour 47% des patients. Pour ceux n'ayant pas changé de centre, l'explication est plutôt retrouvée par la succession de chirurgiens plus que par volonté du patient de changer par perte de confiance. Mais les 22% de la cohorte ayant

changé d'hôpital expriment à l'inverse leur volonté de changer d'opérateur par mauvaise satisfaction de leur prise en charge postopératoire, voire sentiment d'abandon.

Après reprise chirurgicale, 19 patients présentent toujours des symptômes douloureux à 8,4 mois post-reprise, malgré bonne évolution radiographique. La chirurgie de reprise même bien menée dans le cadre de pseudarthrose semble donc donner des résultats mitigés et inférieurs à ceux d'une première arthrodeèse bien consolidée.

Le suivi post-opératoire est marqué par une proportion importante de patients ayant une rapide mauvaise évolution des symptômes. Malgré cela, les délais entre consultations sont élevées. Cette mauvaise évolution pourrait justifier de rapprocher les consultations de suivi afin d'optimiser la prise en charge et cibler plus rapidement les patients suspects à risque de pseudarthrose

Dans le groupe « pseudarthrose lombaire », nous remarquons un taux de 12,5% de reprise pour malpositionnement d'implant. Il ne s'agit pas d'un facteur de risque reconnu de pseudarthrose, cependant on peut émettre l'hypothèse d'une fragilisation du stock osseux et de la greffe postérolatérale lors d'une reprise précoce, devant ce pourcentage élevé.

3) Vie professionnelle

On observe que les patients en arrêt de travail avant la première intervention sont moins susceptibles de reprendre une activité professionnelle que ceux étant toujours actifs. Ce fait est retrouvé également dans des études retrouvant l'arrêt de travail > 1 an préopératoire comme facteur de mauvais pronostic pour la reprise professionnelle.⁷ Des études américaines ont montré que percevoir une compensation ou une aide financière était également un facteur de moins bon retour au travail. Ici 55% de notre cohorte perçoit une indemnité et 67% ont obtenu la reconnaissance en qualité de travailleur handicapé.

En chirurgie du rachis cervical, l'arrêt de travail > 6 mois avant l'intervention est également reconnu comme critère de mauvais pronostic⁵⁴, ainsi que si l'indication opératoire retenue était une discopathie entraînant une cervicalgie. Notre cohorte ne présente uniquement des patients atteints de névralgie cervicobrachiale ou de myélopathie cervicoarthrosique, probablement par le caractère monocentrique de l'étude, dans un centre n'indiquant généralement pas l'arthrodeèse pour une discopathie isolée.

Nos résultats mettent également en évidence que le travail est considéré comme important et comme une part fondamentale de la vie des patients, que ce soit d'un point de vue financier ou social. Le retentissement de la pathologie touche ainsi un pan important de l'équilibre des patients interrogés. 70% de notre cohorte rapportent une baisse de revenu à la suite de leur prise en charge globale, avec un niveau de vie plutôt dégradé voir très dégradé pour 55% d'entre eux.

4) Sports et loisirs

La pratique du sport semble nettement impactée à la suite des 2 opératoires. Ainsi, 77,8% de la cohorte effectuait une activité sport hebdomadaire avant la première arthrode. Au moment du questionnaire, ce taux passe à 22,3%. Une étude américaine de 2017 montrait que 50% des golfeurs amateurs arrivaient à retrouver un niveau similaire à auparavant après arthrode lombaire 1 ou 2 niveaux.⁵⁵ Richards en 2020, sur 73 patients opérés d'une chirurgie localisée du rachis cervical, montrait un taux de reprise de l'activité sportive (golf, tennis ou natation) de 81% en postopératoire.⁵⁶

L'état clinique péjoratif induit par la pseudarthrose semble ainsi avoir une répercussion sur l'activité sportive des patients, dont le taux de reprise est très en deçà des études ayant analysé ce paramètre en postopératoire d'une arthrode rachidienne localisée sans complication.

5) Vie familiale et sociale

11 patients de notre cohorte ont vécu un changement de leur situation conjugale depuis le début de leur pathologie rachidienne depuis le début de leur prise en charge, dont 45% estiment qu'il existe un lien entre ce changement et leur pathologie. Notre effectif est trop faible pour avancer une conclusion fiable. Il est cependant documenté qu'il existe une influence de la lombalgie sur les interactions familiales avec son conjoint, à la fois par diminution des interactions sociales extérieures, et par le fait que le lombalgique ressent que son conjoint le perçoit négativement, avec effet bénéfique des thérapies de couple sur la douleur.⁵⁷

Le retour à une vie sociale correcte est également évalué, on observe ainsi une stabilité du handicap social que présente les symptômes en pré et postopératoire. Il s'agit ainsi également d'un échec, devant l'amélioration de ce paramètre attendu après la chirurgie.

Une étude de 2014 montre, par évaluation du questionnaire JOA sur une population opérée par PLIF, que les paramètres significativement moins bons chez les patients en pseudarthrose sont la capacité à marcher et les paramètres sociaux.⁵⁸

6) Douleur et tabagisme

Cette répercussion de la pseudarthrose sur les paramètres socioprofessionnels s'explique par une douleur, axiale ou radiculaire toujours présente malgré les 2 chirurgies pour la grande majorité de la cohorte nécessitant une consommation d'antalgiques. Le tabagisme, facteur de risque de pseudarthrose rachidienne⁴¹, présente une tendance inversée avec le préopératoire, par diminution du nombre de patients fumeurs après leurs 2 opérations dans notre cohorte. La consommation quotidienne de médicaments antalgiques est élevée, à 72,1% malgré chirurgie de reprise.

Les patients opérés initialement pour lombalgie sur discopathie inflammatoire semblent présenter les moins bons résultats après prise en charge de la pseudarthrose.

7) Satisfaction globale

Malgré cette évolution, les patients gardent un sentiment global de satisfaction de leur prise en charge. La première chirurgie est considérée très largement comme un échec. La 2nde intervention est quant à elle considérée comme salvatrice. L'immense majorité des patients ne regrettent donc pas d'avoir pris la décision initiale de se faire opérer.

Cependant la survenue d'une autre complication, telle la reprise chirurgicale précoce pour malpositionnement de matériel, semble diminuer la satisfaction globale de la prise en charge.

8) Limites et avantages de l'études

Cette étude présente plusieurs limites. Il s'agit d'une étude rétrospective et principalement descriptive avec risque de biais quant au délai entre prise en charge et questionnaire. Une évaluation quantifiée de l'impact de la pathologie sur ces caractéristiques ne pourrait s'affirmer que via une étude prospective comparative.

Cependant, cette étude présente plusieurs points forts : un effectif conséquent, le caractère monocentrique de l'étude uniformisant les pratiques et chirurgies effectuées.

Conclusion

La pseudarthrose après arthrodèse rachidienne ayant nécessité une reprise chirurgicale impacte l'évolution sociale et professionnelle des patients de manière péjorative, mais ne semble pas entraîner d'insatisfaction vis-à-vis des opérations. La durée entre la première chirurgie et la deuxième pourrait expliquer la difficile réinsertion socioprofessionnelle après longue période d'inactivité. Notre étude permet de mettre en évidence un pattern d'évolution du patient pris en charge pour pseudarthrose rachidienne.

Cette étude décrit ainsi l'évolution de la vie professionnelle, sociale et sportive de ces patients.

ANNEXE 1 – Questionnaire utilisé

Talon	<p>Quel est votre niveau d'étude <i>Sans diplôme, Brevet des collèges, CAP/BEP, BAC, Bac +2, Bac +3, Bac +5, >bac+5</i></p> <p>Quel est votre profession (si en arrêt, chômage, ou retraité, indiquez votre dernière profession). <i>Ouvriers, Employés, Artisans Commerçants et Chefs d'entreprise, Professions intermédiaires, Agriculteurs, Cadres et professions intellectuelles supérieures, femme au foyer.</i></p>	
Travail	<p>Entre 0 et 10 vous considérez que dans votre vie le travail est : <i>0 pas du tout important ; 10 très important</i></p> <p>Entre 0 et 10 pensez-vous que votre pathologie a dégradé vos rapports professionnels avec vos collègues et votre hiérarchie <i>0 Non, pas du tout; 10 Oui, beaucoup</i></p>	
	<i>1^{er} intervention</i>	<p>Avant votre première intervention chirurgicale, quelle était votre situation professionnelle ? <i>Actif, Arrêt de travail, Congé de Longue Maladie, Invalidité catégorie 1, 2 ou 3, sans activité professionnelle.</i></p> <p>Depuis combien de temps ? (<i>mois</i>)</p> <p>Avez-vous repris votre activité professionnelle à la suite de la première opération ? <i>Oui/Non</i></p> <p>Si oui, combien de temps après l'opération ? (en mois) <i>Réponse</i></p> <p>Si oui, combien de temps avez-vous pu maintenir votre activité professionnelle ? (<i>mois</i>)</p>
	<i>2^e intervention</i>	<p>Avez-vous repris votre activité professionnelle à la suite de la deuxième opération ? <i>Oui/Non</i></p> <p>Si oui, combien de temps après l'opération ?</p> <p>Si oui, combien de temps avez-vous pu maintenir votre activité professionnelle ? <i>(mois)</i></p>

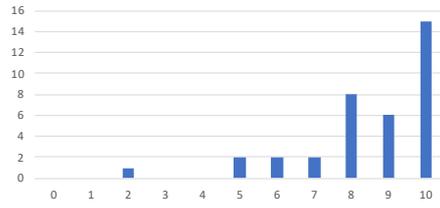
<p>Accompagnement social</p>	<p>Dans le cadre de votre problème de dos, avez-vous rencontré un travailleur social ? <i>Oui/Non</i></p> <p>Parmi les dispositifs suivant, vous bénéficiez ou avez bénéficiés de : <i>La Reconnaissance de la Qualité de Travailleur Handicapé, Un aménagement de poste, Un reclassement professionnel</i></p> <p>Avez-vous eu une baisse de revenu à la suite de vos opérations ? <i>0 : Je n'ai eu aucune baisse de revenus ; 10 J'ai eu une baisse très importante de revenus</i></p> <p>Percevez-vous des compensations financières à la suite de cette baisse de revenus ? <i>Aucune, L'allocation Adulte Handicapé, Une pension d'invalidité, autre</i></p> <p>Vous estimez que votre niveau de vie est aujourd'hui : <i>0 : Très dégradé ; 10 très confortable</i></p>
<p>Loisirs</p>	<p>Sur échelle de 0 à 10, à combien estimez-vous que votre pathologie vous empêchait d'effectuer vos loisirs avant de vous faire opérer ? <i>0 : Ma pathologie m'empêche d'effectuer tout loisir ; 10 : Ma pathologie ne me handicapait pas du tout dans mes loisirs</i></p> <p>Et maintenant ? <i>0 : Ma pathologie m'empêche d'effectuer tout loisir ; 10 : Ma pathologie ne me handicape pas du tout dans mes loisirs</i></p>
<p>Sport</p>	<p>Entre 0 et 10 vous considérez que dans votre vie le sport est : <i>0 pas du tout important ; 10 très important</i></p> <p>Avant de vous faire opérer, pratiquiez-vous une activité sportive ? <i>Non ; Oui, moins de deux heure par semaine ; Oui, plus de deux heures par semaines</i></p> <p>Actuellement, pouvez-vous toujours la réaliser ? <i>Non ; Oui mais pas autant qu'avant ; Oui autant qu'avant ; Oui plus qu'avant</i></p> <p>Avez-vous dû changer vos activités sportives suite aux opérations ? <i>Oui/non</i></p> <p>Suivez-vous des séances de kinésithérapie actuellement ? <i>Non ; Oui épisodiquement lors des périodes douloureuses ; Oui chaque semaine</i></p>

<p>Social</p>	<p>Quelle était votre situation conjugale avant la première opération du dos/cou ? <i>Marié/concubinage ; Célibataire ; Veuf</i></p> <p>Quelle est votre situation conjugale actuellement ? <i>Marié/concubinage ; Célibataire ; Veuf</i></p> <p>Si votre situation conjugale a changé, vous pensez que c'est lié à votre pathologie ? <i>0 : pas du tout ; 10 exclusivement ou presque</i></p> <p>Pensez-vous que vos problèmes de dos/cou ont eu une répercussion sur vos activités sociales (aller dîner entre amis, prendre un verre en terrasse) <i>0 : Mes problèmes de dos/cou m'ont empêché toute activité sociale ; 10 : Mes problèmes de dos/cou m'ont permis malgré tout la poursuite de mes activités sociales</i></p> <p>Actuellement, menez-vous votre vie sociale comme vous le désireriez ? <i>0 : Pas du tout ; 10 : Tout à fait</i></p>
<p>Douleur</p>	<p>Actuellement, sur une échelle de 0 à 10, à combien cotez-vous votre douleur ? <i>0 : Aucune douleur ; 10 : Douleur intense</i></p> <p>Est-ce que cette douleur est plus faible qu'avant l'opération ? <i>La douleur a disparu, La douleur a nettement diminué, la douleur a un peu diminué, la douleur est identique, la douleur est plus intense qu'avant l'opération</i></p> <p>Prenez-vous actuellement des traitements antalgiques régulièrement ? <i>Oui/Non</i></p> <p>Si oui lesquels ? <i>Paracétamol, anti-inflammatoire, tramadol/codéine, morphine</i></p> <p>Etiez-vous consommateur de tabac avant la première opération ? <i>Non, Oui moins d'un paquet par jour, Oui plus d'un paquet par jour</i></p> <p>Etes-vous fumeur actuellement ? <i>Non, Oui moins d'un paquet par jour, Oui plus d'un paquet par jour</i></p> <p>Si oui, comment a évolué votre consommation de tabac ? <i>J'ai diminué ma consommation, J'ai augmenté ma consommation, ma consommation est restée la même</i></p>

Fonction	<p>Est-ce que vous considérez que les opérations ont permis une amélioration de vos activités de base (faire une balade, conduire une voiture, faire des courses)</p> <p><i>0 : Non, c'est comme avant ; 10 : Oui, amélioration très importante</i></p>
Satisfaction	<p>Avez-vous été satisfait de la première chirurgie ?</p> <p><i>0 : Pas satisfait, 10 : Très satisfait</i></p> <p>Avez-vous été bien après ?</p> <p><i>Oui/Non</i></p> <p>Si oui pendant combien de temps ? (en mois)</p> <p><i>A remplir</i></p> <p>Quand les choses se sont-elles détériorées de nouveau ? (en mois)</p> <p><i>A remplir</i></p> <p>Étaient-ce les mêmes symptômes ?</p> <p><i>Oui des cervicalgies, Oui des radiculalgies, Non différents symptômes</i></p>
Global	<p>Êtes-vous satisfait globalement de votre prise en charge ?</p> <p><i>0 : Pas satisfait du tout ; 10 : Très satisfait</i></p> <p>Si c'était à refaire, le referiez-vous ?</p> <p><i>Non, Je ne le referai pas ; oui, je le referai</i></p>

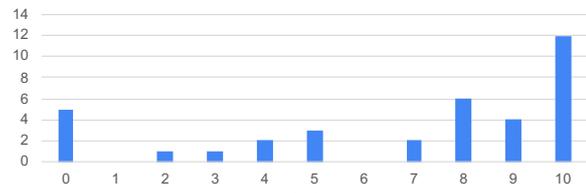
Annexe 2

Entre 0 et 10, vous considérez que dans votre vie, le travail est :



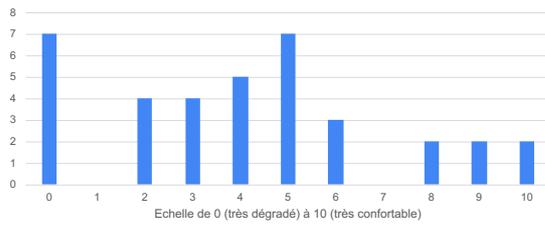
Entre 0 : Pas du tout important et 10 : Très important

Pensez vous que votre pathologie a dégradé vos rapports professionnels avec vos collègues et votre hiérarchie



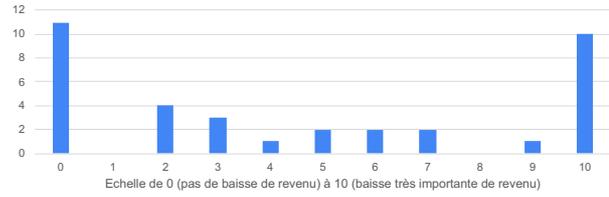
Entre 0 : Pas du tout, 10 : oui beaucoup

Vous estimez que votre niveau de vie est aujourd'hui :



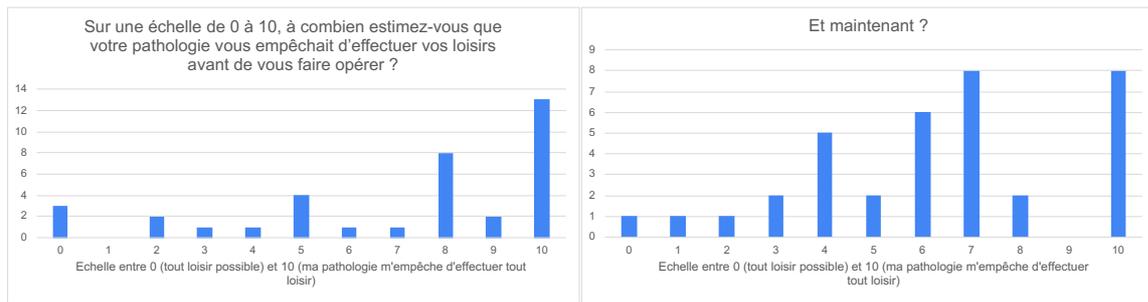
Echelle de 0 (très dégradé) à 10 (très confortable)

Avez-vous eu une baisse de revenu à la suite de vos opérations ?

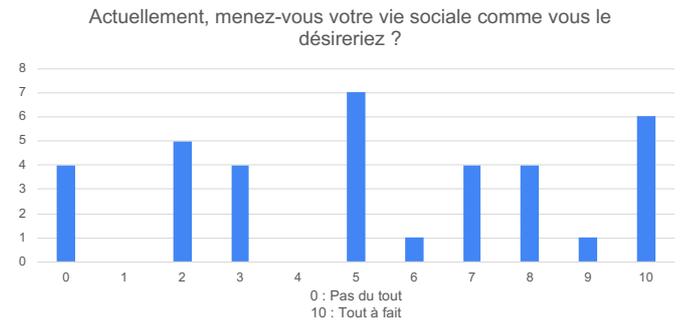
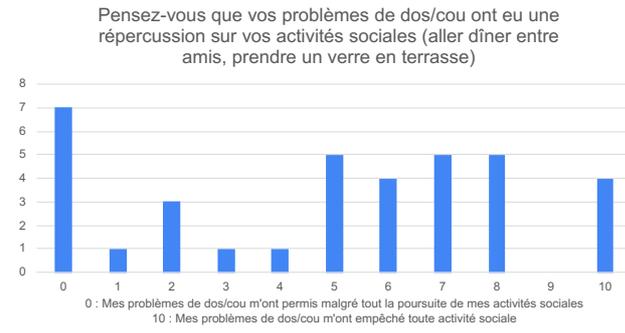


Echelle de 0 (pas de baisse de revenu) à 10 (baisse très importante de revenu)

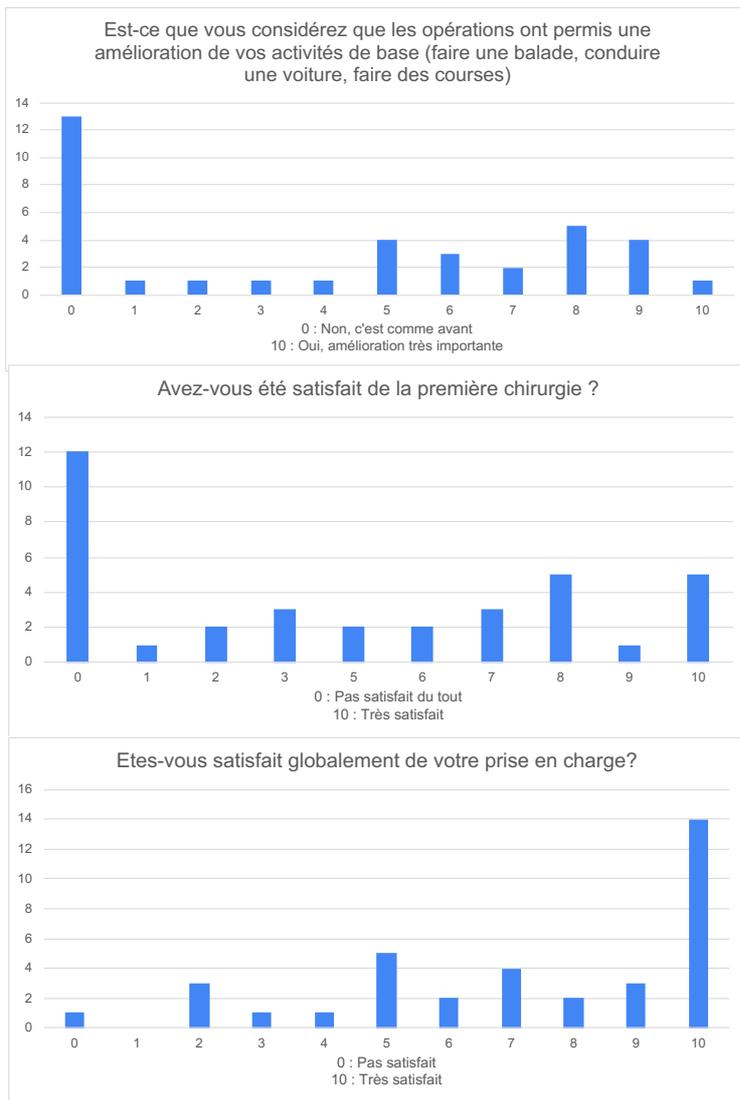
Annexe 3



ANNEXE 4



ANNEXE 5



Conclusion

Ce travail présente un ensemble d'investigations sur la pseudarthrose après arthrodèse rachidienne, une des principales complications à long terme de cette chirurgie.

Définie par l'absence de consolidation osseuse plus de 12 mois après l'intervention, sa prise en charge thérapeutique nécessite une nouvelle opération entravant l'évolution espérée.

L'objectif de cette thèse est d'analyser la pathologie sous 2 principaux aspects : la prise en charge diagnostique et l'évolution des patients à long terme, à l'issue de leur prise en charge globale.

Devant le polymorphisme des chirurgies réalisées, nous avons préféré séparer la pathologie cervicale et lombaire concernant le diagnostic positif de pseudarthrose.

Cette séparation en 2 groupes permet de montrer l'intérêt de différentes modalités d'imagerie selon la pathologie initiale. Ainsi nous recommandons 2 conduites à tenir diagnostiques différentes.

Après arthrodèse cervicale, les examens les plus sensibles pour évaluer le caractère non consolidé dans notre étude sont la radiographie dynamique en flexion et extension associée au scanner en coupes fines, tandis que l'IRM est de moins bonne interprétation notamment par les artéfacts liés aux implants.

Après arthrodèse lombaire, les clichés dynamiques sont peu utilisés mais paraissent moins sensibles, en partie par les remaniements arthrosiques rendant la technique de mesure imprécise. Le scanner est l'examen le plus sensible, comme décrit dans la littérature. L'IRM cependant apparaît être un examen fiable et intéressant pour déterminer le statut de fusion, par évaluation de la classification de Modic, signe présentant une très bonne spécificité. Non décrite dans la littérature, la recherche de ce signe semble donc pourtant être un argument fondamental pour déterminer le statut de fusion. Notre étude oriente donc la prise en charge diagnostique lors d'une suspicion de pseudarthrose vers la réalisation d'emblée d'un scanner associé à l'IRM, afin de diminuer le nombre de patients dont le diagnostic est douteux sur une seule modalité d'examen.

L'objectif d'une prescription d'emblée des modalités d'imagerie les plus pertinentes et utiles peut permettre de diminuer le délai de ré-intervention. En effet, nous avons remarqué

dans notre série un délai moyen de reprise chirurgicale de plus de 2 ans, constituant un laps de temps de mauvaise évolution empêchant une qualité de vie satisfaisante pour le patient.

Nous avons montré dans cette série l'impact négatif de la pathologie sur la reprise professionnelle et la vie sociale après chirurgie des patients en activité, même après celle de reprise. Dans la littérature, il est bien montré la relation entre durée d'arrêt de travail avant chirurgie et difficulté de reprise d'une activité en post-opératoire.

On peut donc émettre comme hypothèse et explication devant ces données qu'une chirurgie de reprise trop tardive pour pseudarthrose, expliquée en partie par une incertitude dans le diagnostic et les multiples consultations et examens entre les 2 opérations, aurait un impact sur le retour à une vie professionnelle à posteriori, et que la diminution de celui-ci est un objectif fondamental à rechercher.

Ce travail permet donc de cibler une période clé dans la prise en charge des patients en chirurgie rachidienne, à travers la prise en charge d'une de ses principales complications. Nous observons également que malgré une chirurgie de reprise bien réalisée avec atteinte d'un statut de fusion satisfaisant, le résultat fonctionnel sur le plan de la vie sociale, sportive et professionnelle est médiocre via le questionnaire que nous avons mis au point. Le patient reste satisfait de sa prise en charge mais la chirurgie n'a pas eu tous les résultats escomptés.

Nous ne nous intéressons pas spécifiquement à la prévention de la pseudarthrose et aux moyens de l'éviter, cependant il s'agit d'un pan de la pathologie fondamental à appréhender. En effet, une pseudarthrose rachidienne même bien ré-opérée est à haut risque d'engendrer un handicap à long terme. La prévalence du tabagisme dans notre population, en accord avec les données de la littérature, montre l'existence de facteurs de risque modifiables dans cette pathologie.

Ce travail présente des limites : il s'agit d'études rétrospectives et principalement descriptives, avec risque de biais de rappel lié au délai entre l'évènement chirurgical et l'étude. Ce travail permet surtout un état des lieux de nos pratiques actuelles. Cependant il permet d'apporter des conclusions fiables du fait du nombre élevé de patients inclus, qui permettent de valider certaines de nos prises en charges et également de cibler leurs points améliorables.

Afin de poursuivre ce travail autour de cette pathologie, l'analyse en amont et la recherche d'autres facteurs de risques modifiables, et notamment chirurgicaux, pourrait être réalisée dans le but de diminuer la fréquence de la complication.

Bibliographie

1. Chan, A. K. *et al.* Laminectomy alone versus fusion for grade 1 lumbar spondylolisthesis in 426 patients from the prospective Quality Outcomes Database. *Journal of Neurosurgery: Spine* **30**, 234–241 (2019).
2. Stull, J. D. *et al.* The Outcomes of Patients With Neck Pain Following ACDF: A Comparison of Patients With Radiculopathy, Myelopathy, or Mixed Symptomatology. *Spine* **45**, 1485–1490 (2020).
3. Gruskay, J. A., Webb, M. L. & Grauer, J. N. Methods of evaluating lumbar and cervical fusion. *The Spine Journal* **14**, 531–539 (2014).
4. Rouben, D., Casnellie, M. & Ferguson, M. Long-term Durability of Minimal Invasive Posterior Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Clinical and Radiographic Follow-up. *Journal of Spinal Disorders & Techniques* **24**, 288–296 (2011).
5. Nguyen, T. H., Randolph, D. C., Talmage, J., Succop, P. & Travis, R. Long-term Outcomes of Lumbar Fusion Among Workers' Compensation Subjects: A Historical Cohort Study. *Spine* **36**, 320–331 (2011).
6. Tabaraee, E. *et al.* The Impact of Worker's Compensation Claims on Outcomes and Costs Following an Anterior Cervical Discectomy and Fusion: *Spine* **40**, 948–953 (2015).
7. Anderson, J. T. *et al.* Workers' Compensation, Return to Work, and Lumbar Fusion for Spondylolisthesis. *Orthopedics* **39**, (2016).
8. Leven, D. & Cho, S. K. Pseudarthrosis of the Cervical Spine: Risk Factors, Diagnosis and Management. *Asian Spine Journal* **10**, 776 (2016).
9. Choi, S. H. *et al.* Preoperative Radiographic Parameters to Predict a Higher Pseudarthrosis Rate After Anterior Cervical Discectomy and Fusion: *SPINE* **42**, 1772–1778 (2017).
10. Kani, K. K. & Chew, F. S. Anterior cervical discectomy and fusion: review and update for radiologists. *Skeletal Radiology* **47**, 7–17 (2018).
11. Lee, D.-H. *et al.* What Is the Fate of Pseudarthrosis Detected 1 Year After Anterior Cervical Discectomy and Fusion?: *SPINE* **43**, E23–E28 (2018).
12. Bishop, R. C., Moore, K. A. & Hadley, M. N. Anterior cervical interbody fusion using autogeneic and allogeneic bone graft substrate: a prospective comparative analysis. *Journal of Neurosurgery* **85**, 206–210 (1996).
13. Buttermann, G. R. Anterior Cervical Discectomy and Fusion Outcomes over 10 Years: A Prospective Study. *SPINE* **43**, 207–214 (2018).
14. Spinelli, J., Neal, C. J. & Rosner, M. K. Performance of Cervical Arthroplasty at a Pseudarthrosed Level of a MultiLevel Anterior Cervical Discectomy and Fusion: Case Report. *Military Medicine* **181**, e621–e624 (2016).
15. Ghiselli, G., Wharton, N., Hipp, J. A., Wong, D. A. & Jatana, S. Prospective Analysis of Imaging Prediction of Pseudarthrosis After Anterior Cervical Discectomy and Fusion: Computed Tomography Versus Flexion-Extension Motion Analysis With Intraoperative Correlation. *Spine* **36**, 463–468 (2011).
16. Josseran, L. Le tabagisme en France : quelle est la situation ? *Revue de Pneumologie Clinique* **74**, 124–132 (2018).
17. Lau, D., Chou, D., Ziewacz, J. E. & Mummaneni, P. V. The effects of smoking on perioperative outcomes and pseudarthrosis following anterior cervical corpectomy. *Journal of Neurosurgery: Spine* **21**, 547–558 (2014).
18. Jackson, K. L. & Devine, J. G. The Effects of Smoking and Smoking Cessation on Spine Surgery: A Systematic Review of the Literature. *Global Spine Journal* **6**, 695–701 (2016).
19. Kelly, M. P., Eliasberg, C. D., Riley, M. S., Ajiboye, R. M. & SooHoo, N. F.

- Reoperation and complications after anterior cervical discectomy and fusion and cervical disc arthroplasty: a study of 52,395 cases. *European Spine Journal* **27**, 1432–1439 (2018).
20. Kaiser, M. G. *et al.* Radiographic assessment of cervical subaxial fusion. *Journal of Neurosurgery: Spine* **11**, 221–227 (2009).
 21. Williams, L. Surgical Exploration Versus Radiographic Evaluation. 7.
 22. Slizofski, W. J. *et al.* Painful pseudarthrosis following lumbar spinal fusion: detection by combined SPECT and planar bone scintigraphy. *Skeletal Radiology* **16**, 136–141 (1987).
 23. Trout, A. T., Sharp, S. E., Anton, C. G., Gelfand, M. J. & Mehlman, C. T. Spondylolysis and Beyond: Value of SPECT/CT in Evaluation of Low Back Pain in Children and Young Adults. *RadioGraphics* **35**, 819–834 (2015).
 24. Dauchy, F.-A. *et al.* Interest of [¹⁸F]fluorodeoxyglucose positron emission tomography/computed tomography for the diagnosis of relapse in patients with spinal infection: a prospective study. *Clinical Microbiology and Infection* **22**, 438–443 (2016).
 25. Krause, K. L., Obayashi, J. T., Bridges, K. J., Raslan, A. M. & Than, K. D. Fivefold higher rate of pseudarthrosis with polyetheretherketone interbody device than with structural allograft used for 1-level anterior cervical discectomy and fusion: Presented at the 2018 AANS/CNS Joint Section on Disorders of the Spine and Peripheral Nerves. *Journal of Neurosurgery: Spine* **30**, 46–51 (2019).
 26. Elder, B. D. *et al.* Successful anterior fusion following posterior cervical fusion for revision of anterior cervical discectomy and fusion pseudarthrosis. *Journal of Clinical Neuroscience* **24**, 57–62 (2016).
 27. Kaiser, M. G. *et al.* Management of anterior cervical pseudarthrosis. *Journal of Neurosurgery: Spine* **11**, 228–237 (2009).
 28. Martin, B. I. *et al.* Reoperation Rates Following Lumbar Spine Surgery and the Influence of Spinal Fusion Procedures: *Spine* **32**, 382–387 (2007).
 29. Huneidi, M. *et al.* Diagnosis of reoperated cervical non-union: Multicenter retrospective study about 45 patients. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research* 102924 (2021) doi:10.1016/j.otsr.2021.102924.
 30. Guppy, K. H. *et al.* Operative Nonunion Rates in Posterolateral Lumbar Fusions: Analysis of a Cohort of 2591 Patients from a National Spine Registry. *World Neurosurgery* **145**, e131–e140 (2021).
 31. Irmola, T. M. *et al.* Reoperation Rates Following Instrumented Lumbar Spine Fusion. *Spine* **43**, 295–301 (2018).
 32. European Spine Study Group *et al.* Lack of improvement in health-related quality of life (HRQOL) scores 6 months after surgery for adult spinal deformity (ASD) predicts high revision rate in the second postoperative year. *Eur Spine J* **26**, 2160–2166 (2017).
 33. Lee, Y.-P., Sclafani, J. & Garfin, S. R. Lumbar Pseudarthrosis: Diagnosis and Treatment. *Seminars in Spine Surgery* **23**, 275–281 (2011).
 34. Chun, D. S., Baker, K. C. & Hsu, W. K. Lumbar pseudarthrosis: a review of current diagnosis and treatment. *Neurosurgical Focus* **39**, E10 (2015).
 35. Kuslich SD, Kuslich SD, Ulstrom CL, Griffith SL, et al. The Bagby and Kuslich method of lumbar interbody fusion. History, techniques, and 2-year follow-up results of a United States prospective, multicenter trial. *Spine* 1998;23:1267–78; discussion 1279. *Spine* 1998;23:1267–78; discussion 1279.
 36. Raizman, N. M., O'Brien, J. R., Poehling-Monaghan, K. L. & Yu, W. D. Pseudarthrosis of the Spine: *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons* **17**, 494–503 (2009).
 37. Williams, A. L., Gornet, M. F. & Burkus, J. K. CT Evaluation of Lumbar Interbody Fusion: Current Concepts. 10 (2005).
 38. Rager, O. *et al.* SPECT/CT in Differentiation of Pseudarthrosis From Other Causes of

- Back Pain in Lumbar Spinal Fusion: Report on 10 Consecutive Cases. *Clinical Nuclear Medicine* **37**, 339–343 (2012).
39. Al-Riyami, K., Gnanasegaran, G., Van den Wyngaert, T. & Bomanji, J. Bone SPECT/CT in the postoperative spine: a focus on spinal fusion. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* **44**, 2094–2104 (2017).
 40. C. William Brown, H. D. R. The Rate of Pseudarthrosis (surgical nonunion) in patients who are smokers and patients who are nonsmokers : a comparison study. (1986).
 41. Phan, K. *et al.* Effect of Smoking Status on Successful Arthrodesis, Clinical Outcome, and Complications After Anterior Lumbar Interbody Fusion (ALIF). *World Neurosurgery* **110**, e998–e1003 (2018).
 42. Donnally, C. J. *et al.* Is There a Correlation Between Preoperative or Postoperative Vitamin D Levels with Pseudarthrosis, Hardware Failure, and Revisions After Lumbar Spine Fusion? *World Neurosurgery* **130**, e431–e437 (2019).
 43. Albert, T. J., Pinto, M. & Denis, F. Management of Symptomatic Lumbar Pseudarthrosis With Anteroposterior Fusion: A Functional and Radiographic Outcome Study. *Spine* **25**, 123 (2000).
 44. Carreon, L. Y., Djurasovic, M., Glassman, S. D. & Sailer, P. Diagnostic Accuracy and Reliability of Fine-Cut CT Scans With Reconstructions to Determine the Status of an Instrumented Posterolateral Fusion With Surgical Exploration as Reference Standard: *Spine* **32**, 892–895 (2007).
 45. Choudhri, T. F. *et al.* Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 4: Radiographic assessment of fusion status. *Journal of Neurosurgery: Spine* **21**, 23–30 (2014).
 46. Kröner, A. H. *et al.* Magnetic Resonance Imaging Evaluation of Posterior Lumbar Interbody Fusion: *Spine* **31**, 1365–1371 (2006).
 47. Dudli, S., Fields, A. J., Samartzis, D., Karppinen, J. & Lotz, J. C. Pathobiology of Modic changes. *European Spine Journal* **25**, 3723–3734 (2016).
 48. Portella, S. T. & Acioly, M. A. The course of Modic vertebral body changes after posterolateral lumbar fusion on fused and adjacent levels: A systematic review of the literature. *Journal of Clinical Neuroscience* **41**, 6–10 (2017).
 49. Bono, C. M. *et al.* Residual Sagittal Motion After Lumbar Fusion: A Finite Element Analysis With Implications on Radiographic Flexion-Extension Criteria. *Spine* **32**, 417–422 (2007).
 50. Pennington, Z. *et al.* Quality of Life and Cost Implications of Pseudarthrosis After Anterior Cervical Discectomy and Fusion and its Subsequent Revision Surgery. *World Neurosurgery* **133**, e592–e599 (2020).
 51. Adogwa, O. *et al.* Long-term outcomes of revision fusion for lumbar pseudarthrosis: Clinical article. *SPI* **15**, 393–398 (2011).
 52. Dede, O. *et al.* Revision surgery for lumbar pseudarthrosis. *The Spine Journal* **15**, 977–982 (2015).
 53. Jaeger, A. *et al.* Risk factors of instrumentation failure and pseudarthrosis after stand-alone L5–S1 anterior lumbar interbody fusion: a retrospective cohort study. **9**.
 54. Faour, M. *et al.* Return to Work Rates After Single-level Cervical Fusion for Degenerative Disc Disease Compared With Fusion for Radiculopathy in a Workers' Compensation Setting. *Spine* **41**, 1160–1166 (2016).
 55. Shifflett, G. D. *et al.* Return to Golf After Lumbar Fusion. *Sports Health* **9**, 280–284 (2017).
 56. Richards, A. *et al.* Return to Golf, Tennis, and Swimming After Elective Cervical Spine Surgery. *Cureus* (2020) doi:10.7759/cureus.9993.
 57. Cano, A., Weisberg, J. N. & Gallagher, R. M. Marital Satisfaction and Pain Severity

Mediate the Association between Negative Spouse Responses to Pain and Depressive Symptoms in a Chronic Pain Patient Sample. *Pain Med* **1**, 35–43 (2000).

58. Makino, T. *et al.* Does fusion status after posterior lumbar interbody fusion affect patient-based QOL outcomes? An evaluation performed using a patient-based outcome measure. *Journal of Orthopaedic Science* **19**, 707–712 (2014).

SERMENT d'HIPPOCRATE

Au moment d'être admis(e) à exercer la médecine, je promets et je jure d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité.

Mon premier souci sera de rétablir, de préserver ou de promouvoir la santé dans tous ses éléments, physiques et mentaux, individuels et sociaux.

Je respecterai toutes les personnes, leur autonomie et leur volonté, sans aucune discrimination selon leur état ou leurs convictions. J'interviendrai pour les protéger si elles sont affaiblies, vulnérables ou menacées dans leur intégrité ou leur dignité. Même sous la contrainte, je ne ferai pas usage de mes connaissances contre les lois de l'humanité.

J'informerai les patients des décisions envisagées, de leurs raisons et de leurs conséquences. Je ne tromperai jamais leur confiance et n'exploiterai pas le pouvoir hérité des circonstances pour forcer les consciences.

Je donnerai mes soins à l'indigent et à quiconque me le demandera. Je ne me laisserai pas influencer par la soif du gain ou la recherche de la gloire.

Admis(e) dans l'intimité des personnes, je tairai les secrets qui me seront confiés. Reçu(e) à l'intérieur des maisons, je respecterai les secrets des foyers et ma conduite ne servira pas à corrompre les mœurs.

Je ferai tout pour soulager les souffrances. Je ne prolongerai pas abusivement les agonies. Je ne provoquerai jamais la mort délibérément.

Je préserverai l'indépendance nécessaire à l'accomplissement de ma mission. Je n'entreprendrai rien qui dépasse mes compétences. Je les entretiendrai et les perfectionnerai pour assurer au mieux les services qui me seront demandés.

J'apporterai mon aide à mes confrères ainsi qu'à leurs familles dans l'adversité.

Que les hommes et mes confrères m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ; que je sois déshonoré(e) et méprisé(e) si j'y manque. »