


ELSEVIER
MASSONDisponible en ligne sur
 ScienceDirect
www.sciencedirect.comElsevier Masson France
EM|consulte
www.em-consulte.comANNALS
OF PHYSICAL
AND REHABILITATION MEDICINE

Annals of Physical and Rehabilitation Medicine 54 (2011) 53–58

Clinical case/Cas clinique

Spondylolisthesis on bilateral pedicle stress fracture in the lumbar spine: A case study

*Spondylolisthésis sur fracture pédiculaire bilatérale de fatigue au rachis lombaire :
à propos d'un cas*A. Hajjioui ^{a,*}, H. Khazzani ^b, S. Sbihi ^b, R. Bahiri ^b, B. Benchekroune ^b, N. Hajjaj-Hassouni ^{a,b}^a Service de médecine physique et de réadaptation, hôpital El Ayachi, centre hospitalier universitaire Ibn Sina, université Mohamed V souissi, rue de la plage, 10000 Rabat-Salé, Maroc^b Service de rhumatologie, hôpital El Ayachi, centre hospitalier universitaire Ibn Sina, université Mohamed V souissi, Rabat-Salé, Maroc

Received 19 December 2010; accepted 20 December 2010

Abstract

We report the clinical case of a 54-year-old woman presenting radicular low back pain on the right side of L4 associated to spondylolisthesis on L4–L5, without any notion of trauma or spine surgery. Furthermore this patient is regularly seen for benign rheumatoid polyarthritis complicated by steroid-induced osteoporosis. A preventive treatment was implanted with good results on pain improvement and functional capacities. For pedicle fractures the literature review reports several different etiologies: spontaneous fractures, hereditary fractures or stress-related fractures. There was a discussion on the various treatments available and in this case of spondylolisthesis on pedicle fracture a conservative treatment was implemented similar to the one for isthmic spondylolisthesis. It yielded satisfying results.

© 2010 Elsevier Masson SAS. All rights reserved.

Keywords: Pedicle fracture; Spondylolisthesis; Congenital spinal deformity; Lack of pedicle; Stress fracture

Résumé

Nous rapportons le cas clinique d'une femme de 54 ans, ayant consultée pour une lombalgie avec une radiculalgie L4 droite en rapport avec une fracture pédiculaire bilatérale de L4 associée à un spondylolisthésis de L4 sur L5, sans notion de traumatisme ni de chirurgie rachidienne. De plus, elle est suivie pour une polyarthrite rhumatoïde bénigne compliquée d'une ostéoporose cortisonique. Un traitement conservateur a été instauré. L'évolution a été favorable avec une amélioration de la douleur et de la capacité fonctionnelle. La revue de la littérature rapporte des étiologies de fractures pédiculaires « spontanées », d'origine congénitale ou en rapport avec des fractures de fatigue. Différents traitements proposés sont discutés et dans ce cas clinique, un traitement conservateur du spondylolisthésis sur fracture pédiculaire identique à celui du spondylolisthésis sur lyse isthmique a permis un résultat satisfaisant.

© 2010 Elsevier Masson SAS. Tous droits réservés.

Mots clés : Fracture pédiculaire ; Spondylolisthésis ; Anomalie rachidienne congénitale ; Absence de pédicule ; Fracture de fatigue

1. English version

1.1. Introduction

Spondylolisthesis (SPL) is clearly visible on lumbar spine x-ray images often without any clinical explanation [1].

We differentiate two types of SPL, spondylolysis SPL and degenerative SPL. Pedicle stress fractures as well as defects due to congenital aplasia are quite rare etiologies for spondylolysis SPL [2–4]. Conservative treatment measures are sufficient for most patients (e.g. rest, rehabilitation, analgesics, zygapophyseal joint injections) [5,6]. We report the case of a patient with low back pain correlated to spondylolisthesis L4–L5 on a bilateral pedicle stress fracture at L4 without any history of spine surgery or trauma.

* Corresponding author. Jnane Nahda Immeuble 32, Appartement 2, Taka-doum Rabat 10000, Maroc.

E-mail address: hajjiouiabdo@yahoo.fr (A. Hajjioui).

1.2. Observation

For the past 4 years this 54-year-old female patient has been seen in consultation for mechanical low back pain on her right side, on the visual analogue pain scale (pain VAS) the patient's pain was at 40 mm. In her history we find benign rheumatoid polyarthritis progressing for the past 9 years, its clinical and structural evolution are positively treated with Disease Modifying Anti-Rheumatic Drugs (DMARDS) and low dose of corticosteroids (between 5 and 10 mg of prednisone per day). She also has steroid-induced osteoporosis (T-score = -1.8 DS). The patient has been menopausal for 4 years. There is no notion of spine trauma or surgery in her medical history.

The progression of the symptoms revealed: a progressive aggravation of the pain evaluated on the pain VAS at 80 mm, a 50-m restricted walking perimeter (WP) and functional impairments evaluated at 70 mm on a VAS.

At the clinical examination we find a positive Leri's sign on the right side with tactile hypoesthesia and epicritic sensibility in the right L4 nerve root, no motor deficit or lumbar spine syndrome.

The rest of the examination is eventless. There is no biological inflammatory syndrome.

Standard x-ray imaging of the lumbar spine (lateral, anterior-posterior, and oblique views), show a Grade 1 L4-L5 spondylolisthesis according to the Meyerding classification and bilateral pedicle fractures of the L4 vertebra (Fig. 1).

Additional imaging exams (CT-scan and MRI) validate the bilateral pedicle stress fracture, an intact isthmus as well as a right foraminal disc herniation compressing the L4 nerve root on the same side (Figs. 2 and 3).

In the outpatient hospital a conservative treatment was implemented consisting in analgesics belonging to Step II on the World Health Organization pain ladder. A kyphosis-induced rehabilitation program was also prescribed to reinforce the lumbar spine and iliopsoas muscles. A lumbosacral orthosis was ordered with pelvic and sacral support. The patient also



Fig. 1. X-ray profile view of the lumbar spine, in loading, showing L4-L5 SPL and pedicle fracture on L4.

benefited from corrective exercises with kyphosis-induced lumbar spine tractions.

The evolution at 1 month reported a 60% global improvement on pain (pain VAS at 30 mm), functional impairment (functional impairment VAS at 35 mm) and walking perimeter (WP = 300 m).

1.3. Discussion

There are several etiologies for spondylolisthesis, we differentiate it into several types: congenital, isthmic, degenerative, traumatic, and pathologic with alteration of the bone structure (e.g. osteoporosis, Paget's disease, osteolytic tumor) and iatrogenic spondylolisthesis [3]. The lysis of the posterior elements have a significant pathophysiological meaning and

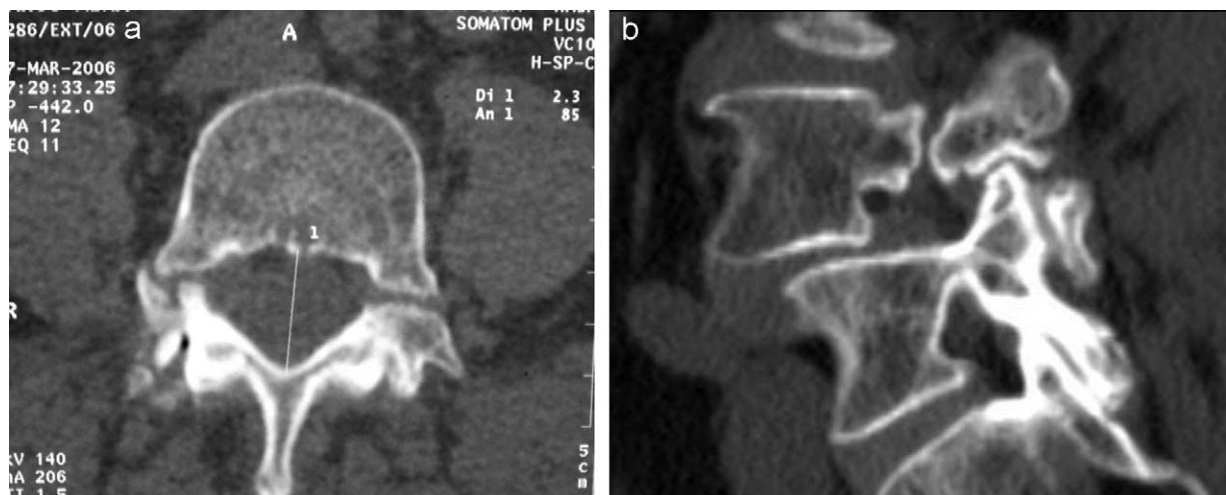


Fig. 2. CT-scan imaging a: axial view showing the bilateral pedicle fracture in L4 and no spinal stenosis; b: sagittal reconstruction showing the cortical borders of the pedicle fracture and the lack of isthmic lysis.



Fig. 3. MRI imaging, sagittal view weighted T2, showing on top of the Grade 1 L4/L5 SPL a right foraminal disc herniation compressing the L4 nerve root on the same side. Degenerative alteration of the L5 upper plateau and linear signal abnormality of the L5 pedicle related to the pedicle fracture.

unveil, on top of acquired and iatrogenic causes, the congenital defects of the posterior elements [7].

The pedicle is not the elective location of posterior elements fractures, since they are more common on the isthmus corresponding to the weakest zone [2,8]. Cyron and Hutton validated this epidemiological observation and reported that posterior elements fractures due to mechanical overuse on the vertebra were located in the isthmus of the pars interarticularis in more than two-third of the cases [9].

Bilateral pedicle stress fractures of the lumbar spine are quite rare and very few cases were reported in the literature. Most cases are linked to trauma injury, a history of spine surgery or activity-related mechanical stress. Up to then, only four cases of bilateral pedicle stress fractures were described outside of the above-mentioned etiologies. [4,10–12].

Our patient has steroid-induced osteoporosis complicating a rheumatoid polyarthritis making this woman at high risk for stress fractures [4].

Because of the weak nature of the spinal bones due to osteoporosis, stress fractures can occur after minor trauma or even without any trauma at all [4].

Sadiq et al. reported the case of a bilateral pedicle stress fractures of the second lumbar vertebra in a 36-year-old patient with a sedentary lifestyle who had chronic lumbar pain of moderate intensity [10].

Doita et al. reported 2 cases of bilateral pedicle stress fractures. The first case was a 57-year-old male patient with a lumbar canal stenosis with mechanical lumbar back pain and sciatica, imaging of the spine validated a bilateral pedicle stress fracture on L4 [11]. The second case was a 77-year-old female

patient with an L5 osteoporotic fracture who complained of intense mechanical lumbar pain on the right side. The CT-scan of the spine validated a bilateral pedicle stress fracture on L4 [12].

Hyeun Sung Kim et al., reported the case of a bilateral pedicle stress fracture on the second lumbar vertebra with spondylolisthesis in a 63-year-old female patient, treated for ankylosing spondylarthritis with severe chronic lumbar pain [4].

Our patient did not have any predisposing risk factors for pedicle fractures, the pedicles were intact on a cortical level, so this fracture could be either a stress fracture since the patient has steroid-induced osteoporosis or a fracture due to congenital spine defect. For the latter hypothesis the agenesis seems mainly unilateral [13].

The four cases of bilateral pedicle stress fractures reported by the literature were treated with surgery [4,10–12]. In our case, given that the patient refused the surgery and because it was a low-grade spondylolisthesis a conservative treatment was implemented based on the same therapeutic care used for isthmic spondylolisthesis. To this day, no study has evaluated treatments during the course of pedicle fractures. However several studies evaluated the efficacy of rehabilitation for isthmic spondylolisthesis [5,14,15]. Rehabilitation treatment uses various techniques such as kyphosis-induced rehabilitation, reinforcement of the lumbar supporting muscles [16,17] and sensorimotor reprogramming [18]. Stretching, especially on the lower limbs focuses on treating the retraction of the hamstring muscles, frequently seen in this pathology [19].

O’Sullivan et al. demonstrated during a prospective, controlled and randomized study that low back pain and functional impairment were significantly decreased in the group that had access to a muscle reinforcement program by co-contraction exercises of the deep abdominal muscles and lumbar spine muscles [20]. We could use pain-relief injections to start the rehabilitation. It is possible to do injections on the posterior joints above the lysis to reach the pedicle “defect” [21], i.e. infiltrate the L3–L4 joints in case of lysis in L4. Wearing a *lombostat* orthosis is frequently recommended in athletes but seems poorly indicated in adult patients [15]. Several surgical techniques were proposed to restore lumbar spine anatomy and stability. Arthrodesis followed by the various lumbar spine fusion surgical techniques showed variable biomechanical outcomes and indications according to the patient’s age, SPL’s etiology and impact [22]. However, surgery needs to be considered if the medical treatment is unsatisfactory all the while checking for SPL stability and progression [1,5,6].

Moller and Hedlund did a study on 111 adult patients with isthmic spondylolisthesis with at least a 1-year history of lumbar back pain/sciatica as well as functional impairment. The patients were randomized into two groups: Group 1 patients had posterolateral arthrodesis treatment and Group 2 patients followed a rehabilitation program. Group 1 showed significant improvements on functional impairment and pain compared to Group 2. [23].

1.4. Conclusion

Bilateral pedicle fractures on spondylolisthesis remain a rare occurrence. Considering all the clinical and imaging data, we agreed on a diagnosis of bilateral pedicle stress fracture. A conservative treatment for these fractures could be discussed first before looking at surgical therapeutic options.

Conflict of interest statement

None.

Acknowledgement

The authors would like to thank Dr. Leila SBIHI for her fruitful partnership.

2. Version française

2.1. Introduction

Le spondylolisthésis (SPL) est une entité visualisée sur les radiographies du rachis souvent sans traduction clinique [1]. On distingue les SPL par spondylolyse, et les SPL dégénératifs. Parmi les étiologies des SPL par spondylolyse, les fractures pédiculaires de fatigue ainsi que les aplasies sur des anomalies congénitales, sont rares [2–4]. Des mesures de traitement conservateur sont suffisantes chez la majorité des patients (repos, rééducation, antalgiques, infiltrations Zygapophysaires postérieurs. . .) [5,6]. Nous rapportons l'observation d'une patiente ayant une lombo-cruralgie droite en rapport avec un SPL L4 sur L5 sur fracture pédiculaire bilatérale de L4 sans notion de chirurgie ou de traumatisme rachidiens.

2.2. Observation

Il s'agit d'une patiente de 54 ans, présentant depuis 4 ans une lombocruralgie droite mécanique d'intensité moyenne évaluée sur une échelle visuelle analogique à 40 mm. Dans ses antécédents, on trouve une polyarthrite rhumatoïde bénigne qui évolue 9 ans, d'évolution clinique et structurale favorable, sous Disease Modifying Anti-Rheumatic Drugs (DMARDs) et faible dose de corticothérapie (entre 5 et 10 mg de prednisone par jour). Elle présente une ostéoporose cortisonique (Tscore = -1,8 DS). La patiente est ménopausée depuis 4 ans. Il n'existe pas de notion de traumatisme, ni d'intervention chirurgicale rachidienne dans ses antécédents.

L'évolution de la symptomatologie a été marquée par une aggravation progressive de la douleur évaluée sur une échelle visuelle analogique à 80 mm, avec une limitation du périmètre de marche (PM) à 50 m et une gêne fonctionnelle évaluée sur une échelle visuelle analogique à 70 mm.

À l'examen, on trouve un signe de Leri positif à droite avec une hypo-esthésie tactile épicrotique dans le territoire de la racine L4 droite, en l'absence d'un déficit moteur et d'un syndrome rachidien. Le reste de l'examen ostéo-articulaire et

somatique est sans particularité. Il n'y a pas de syndrome inflammatoire biologique.

Les radiographies standards du rachis lombaire (face, profil et en obliques) réalisées en position debout, montrent un SPL L4–L5 grade I selon la classification de Meyerding, ainsi qu'une fracture des deux pédicules de L4 (Fig. 1).

Un complément par un scanner et une IRM confirmer la fracture bilatérale des pédicules, l'intégrité des isthmes et un débord discal foraminaux droit comprimant la racine L4 homolatérale (Fig. 2 et 3).

Un traitement conservateur a été réalisé en hôpital de jour, consistant à un traitement antalgique de palier II de l'Organisation mondiale de la santé. Une rééducation en cyphose a été instaurée visant à renforcer les muscles spinaux lombaires et psoas-iliaques. Un corset lombaire sur mesure a été confectionné avec appui sous ombilical et contre appui sacré. La patiente a également bénéficié des tractions lombaires en cyphose.

L'évolution à 1 mois a été marquée par une amélioration globale de 60% portant sur la douleur (EVA à 30 mm) et la gêne fonctionnelle (EVA gêne à 35 mm) avec une amélioration du périmètre de marche (PM = 300 m).

2.3. Discussion

Il existe plusieurs étiologies du SPL. On distingue le SPL dysplasique, par lyse isthmique, dégénératif, traumatique, par altération de la structure osseuse (ostéoporose, maladie de Paget, tumeur ostéolytique. . .) et le SPL iatrogénique [3]. Les lyses de l'arc postérieur ont une signification physiopathologique particulière et relèvent, en plus des causes de fragilité osseuse acquise et iatrogène, d'anomalies constitutionnelles et congénitales de l'arc postérieur [7].

Le pédicule n'est pas la zone de prédilection des fractures de l'arc postérieur qui sont plus fréquentes au niveau de l'isthme



Fig. 1. Radiographie du rachis lombaire de profil en charge montrant le SPL de L4 sur L5 et la fracture pédiculaire de L4.

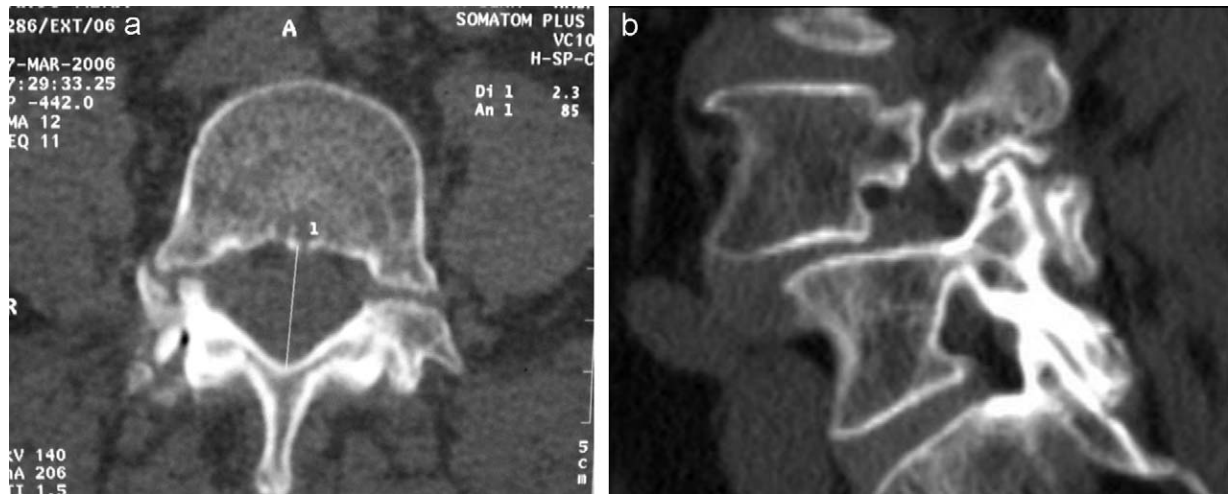


Fig. 2. Images scanographiques a : en coupe axiale fenêtre osseuse, montrant la fracture bilatérale des pédicules de L4 et l'absence de canal rétréci ; b : en reconstruction sagittale, montrant les berges corticalisées de la fracture pédiculaire et l'absence de lyse isthmique.

correspondant à la zone la plus faible [2,8]. Ce constat épidémiologique a été confirmé in vitro par Cyron et Hutton, qui ont trouvé que les fractures de l'arc postérieur suite à l'application de contraintes mécaniques répétitives sur les vertèbres se localisaient dans l'isthme dans plus des deux tiers des cas [9].

Les fractures pédiculaires bilatérales de fatigue de la colonne vertébrale sont rarement rencontrées et peu de cas ont été rapportés dans la littérature. La majorité des cas est liée à un

traumatisme, à un antécédent de chirurgie rachidienne ou à une activité de stress. Jusque là, quatre cas seulement de fracture bilatérale de fatigue des pédicules ont été décrits en l'absence des étiologies suscitées. [4,10–12].

Notre patiente avait une ostéoporose cortisonique compliquant une polyarthrite rhumatoïde ce qui constitue un risque accru de fracture de fatigue [4].

En raison de la nature fragile du rachis avec l'ostéoporose, les fractures de fatigue peuvent se développer après un traumatisme mineur ou même en l'absence de tout traumatisme [4].

Sadiq et al. ont rapporté le cas d'une fracture bilatérale des pédicules de la seconde vertèbre lombaire chez une patiente sédentaire de 36 ans qui présentait des lombalgies chroniques de moyenne intensité [10].

Doita et al. ont rapporté deux cas de fracture bilatérale des pédicules. Le premier cas concerne un patient de 57 ans avec un canal lombaire rétréci qui présentait des lombosciatalgies mécaniques et dont l'imagerie rachidienne a objectivé une fracture de fatigue bilatérale des pédicules de L4 [11]. Le deuxième cas concerne une patiente de 77 ans avec une fracture ostéoporotique de L5 qui se plaignait de lombosciatalgies droites intenses d'allure mécanique et dont la tomodynamométrie du rachis lombaire a montré une fracture bilatérale des pédicules de L4 [12].

Hyeun Sung Kim et al., ont rapporté le cas d'une fracture bilatérale de fatigue des pédicules de la seconde vertèbre lombaire avec un SPL chez une patiente de 63 ans, suivie pour une Spondylarthrite ankylosante et qui présentait des lombalgies chroniques de grande intensité [4].

Notre patiente n'ayant pas de facteurs prédisposant aux fractures pédiculaires et ayant des pédicules entièrement corticalisés à l'imagerie pourrait s'inscrire aussi bien dans le cadre d'une fracture de fatigue, en rappelant que la patiente présente une ostéoporose cortisonique, que dans le cadre d'une anomalie rachidienne congénitale. Nous précisons pour cette seconde hypothèse que l'agénésie paraît être majoritairement unilatérale [13].



Fig. 3. L'imagerie par résonance magnétique, en coupe sagittale en séquence pondérée T2, montrant en plus du SPL L4/L5 grade 1, un débord discal foraminaux droit comprimant la racine L4 homolatérale. Remaniement dégénératif du plateau supérieur de L5, et anomalie de signal linéaire du pédicule de L5 en rapport avec la fracture pédiculaire.

Les quatre cas de fracture pédiculaire bilatérale de fatigue rapportés dans la littérature, ont été traitées chirurgicalement [4,10–12]. Dans notre cas, étant donné que la patiente a refusé un traitement chirurgical et que le spondyloesthésis a été de bas grade, un traitement conservateur a été instauré basé sur les mêmes principes de la prise en charge du SPL par lyse isthmique. Aucune étude n'a évalué le traitement au cours de la fracture pédiculaire. Cependant, de nombreuses études ont évalué l'efficacité de la rééducation dans la lyse isthmique [5,14,15]. La rééducation utilise différentes techniques comme la rééducation en cyphose lombaire, le renforcement de la poutre composite lombaire [16,17] et la reprogrammation sensitivomotrice [18]. L'assouplissement, notamment sous pelvien tente de traiter la rétraction des muscles ischio-jambiers, fréquemment constatée [19].

O'Sullivan et collaborateurs ont démontré lors d'une étude prospective contrôlée randomisée que la douleur lombaire et l'incapacité fonctionnelle diminuaient significativement dans le groupe ayant suivi un programme d'exercices de renforcement musculaire par cocontraction des muscles profonds de l'abdomen et des muscles spinaux [20]. On peut avoir recours à des infiltrations afin d'initier la rééducation. Il est possible d'infiltrer les articulaires postérieures sus-jacentes à la lyse pour atteindre le « défet » pédiculaire [21], c'est-à-dire infiltrer les articulaires L3–L4 en cas de lyse en L4. Le port d'un lombostat est fréquemment proposé chez le sujet sportif et semble peu indiqué chez l'adulte [15]. Différentes techniques chirurgicales ont été proposées pour rétablir l'anatomie et la stabilité rachidienne. L'arthrodèse puis les différentes techniques d'ostéosynthèse ont montré des performances biomécaniques et des indications variables selon l'âge du patient, la cause et les répercussions du SPL [22]. Cependant, la chirurgie ne reste à envisager que si le traitement médical est insuffisant, tout en vérifiant la stabilité et l'évolution du SPL [1,5,6].

Moller et Hedlund ont rapporté une étude portant sur 111 patients adultes ayant une SPL par lyse isthmique avec au moins un an de lombalgie ou de sciatalgie et une limitation de la capacité fonctionnelle. Les patients ont été randomisés en deux groupes, l'un traité par une arthrodèse postérolatérale et l'autre par un programme de rééducation. Les patients qui ont subi une arthrodèse postérolatérale, ont montré amélioration significative des capacités fonctionnelles et de la douleur par rapport au groupe traité par la rééducation [23].

2.4. Conclusion

Les fractures pédiculaires bilatérales avec un SPL représentent une situation rare. En considérant toutes les données cliniques et radiologiques, le diagnostic de fracture pédiculaire bilatérale de fatigue, nous semble à envisager en premier lieu. Le traitement conservateur de ces fractures pourrait être discuté en premier lieu avant d'envisager un traitement chirurgical.

Conflit d'intérêt

Aucun.

Remerciement

Les auteurs tiennent à remercier le Dr Leila SBIHI pour sa fructueuse collaboration à ce travail.

References

- [1] Vialle R, Benoist M. High-grade lumbosacral spondylolisthesis in children and adolescents: pathogenesis, morphological analysis, and therapeutic strategy. *Joint Bone Spine* 2007;74(5):414–7.
- [2] Doita M, Shimomura T, Nishida K, Maeno K, Fujioka H, Kurosaka M. Bilateral pedicle stress fracture in a patient with lumbar spinal stenosis: a case report. *J Spinal Disord Tech* 2008;21(7):531–4.
- [3] Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. *Clin Orthop* 1976;117:23–9.
- [4] Kim HS, Ju CI, Kim SW. Bilateral pedicle stress fracture accompanying spondylolysis in a patient with ankylosing spondylitis. *J Korean Neurosurg Soc* 2010;48(1):70–2 [Epub 2010 Jul 31. PubMed PMID: 20717516].
- [5] Metz LN, Deviren V. Low-grade spondylolisthesis. *Neurosurg Clin N Am* 2007;18(2):237–48.
- [6] Agabegi SS, Fischgrund JS. Contemporary management of isthmic spondylolisthesis: pediatric and adult. *Spine J* 2010;10(6):530–43.
- [7] Dosh JC, Dietemann JL. Spondylolisthésis par spondylolyse. In: Laredo JD, Morvan G, Wybier M, editors. *Imagerie ostéo-articulaire.. Paris: Flammarion Médecine-Sciences; 1998. p. 917.*
- [8] Chong VF, Htoo MM. Pedicular stress fracture in the lumbar spine. *Australas Radiol* 1997;41(3):306–7.
- [9] Cyron BM, Hutton WC. The fatigue strength of the lumbar neural arch in spondylolysis. *J Bone Joint Surg Br* 1978;60-B(2):234–8.
- [10] Sadiq MZ. Bilateral pedicle stress fracture in the lumbar spine of a sedentary office worker. *Eur Spine J* 2006;15(Suppl. 5):653–5.
- [11] Doita M, Shimomura T, Nishida K, Maeno K, Fujioka H, Kurosaka M. Bilateral pedicle stress fracture in a patient with lumbar spinal stenosis: a case report. *Spinal Disord Tech* 2008;21(7):531–4.
- [12] Doita M, Ando Y, Hirata S, Ishikawa H, Kurosaka M. Bilateral pedicle stress fracture in a patient with osteoporotic compression fracture. *Eur Spine J* 2009;18(Suppl. 2):206–9.
- [13] McLeod S, Hendry GMA. Congenital absence of lumbar pedicle. *Pediatr Radiol* 1982;12:207–10.
- [14] McNeely ML, Torrance G, Magee DJ. A systematic review of physiotherapy for spondylolysis and spondylolisthesis. *Man Ther* 2003;8:80–91.
- [15] Sinaki M, Lutness MP, Ilstrup DM, Chu CP, Gramse RR. Lumbar spondylolisthesis: retrospective comparison and three-year follow-up of two conservative treatment programs. *Arch Phys Med Rehabil* 1989;70:594–8.
- [16] Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord* 1992;5:383–9.
- [17] Rodineau J. Traitement conservateur du spondylolisthésis du sportif. *Actualités en médecine du sport* 1995;6:159–65.
- [18] Revel M, Poiradeau S, Mayoux-Benhamou MA. *Traité de médecine physique et de réadaptation*. 1998;44:367.
- [19] Vital JM, Pedram M. Spondylolisthésis par lyse isthmique. *EMC – Rhumatol Orthop* 2005;2:125–50.
- [20] O'Sullivan PB, Phytty GD, Twomey LT, Allison GT. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine* 1997;22:2959–67.
- [21] Park WM, McCall IW, Benson D, Seal PV, O'Brien JP. Spondylarthrography: the demonstration of spondylolysis by apophyseal joint arthrography. *Clin Radiol* 1985;36:427–30.
- [22] Debusscher F, Troussel S. Direct repair of defects in lumbar spondylolysis with a new pedicle screw hook fixation: clinical, functional and Ct-assessed study. *Eur Spine J* 2007;16:1650–8.
- [23] Moller H, Hedlund R. Surgery versus conservative management in adult isthmic spondylolisthesis: a prospective randomized study: part 1. *Spine* 2000;25(13):1711–5.