Spondylolisthésis par lyse isthmique : revue de la littérature, évaluation radiologique et aptitude

M. Garetier, S. Chinellato, C. Barberot, Y. Feuvrier, T. Le Bivic, J. Rousset.

Service d'imagerie médicale, HIA Clermont-Tonnerre, CC 41 – 29240 Brest Cedex 9.

Article reçu le 19 septembre 2011, accepté le 18 janvier 2012.

Résumé

Le spondylolisthésis par lyse isthmique bilatérale est recherché de manière systématique pour déterminer l'aptitude à certains emplois qui peuvent majorer le glissement antérieur. Son diagnostic est radiologique et la décision médico-militaire concernant l'aptitude se base sur l'interprétation des clichés standards par le radiologue. La méthode de Meyerding est la plus fréquemment employée pour évaluer et suivre le glissement. Elle diffère de celle utilisée dans les armées françaises, pouvant alors poser de délicats problèmes de catégorisation.

Mots-clés : Aptitude. Isthme. Radiographie. Spondylolyse. Spondylolisthésis. Vertèbres lombaires.

Abstract

ISTHMIC SPONDYLOLISTHESIS: LITERATURE REVIEW, RADIOLOGIC EVALUATION AND FITNESS.

Isthmic spondylolisthesis is systematically looked for certain jobs which can increase previous sliding. Diagnosis is based on radiological findings. The medical military decision concerning fitness is based on X-rays read by a radiologist. The Meyerding method is the most used to assess and follow up spondylolisthesis gravity. It differs from that used in the French Armed Forces, which can cause categorization problems.

Keywords: Aptitude. Isthmus. Lumbar vertebrae. Radiography. Spondylolysis. Spondylolisthesis.

Introduction

Le spondylolisthésis (SPL) se définit comme un glissement antérieur du corps vertébral par rapport à la vertèbre sous-jacente. Il se produit le plus souvent à l'étage lombaire inférieur avec une prédilection pour la charnière lombosacrée (1). L'étiologie la plus fréquente est la lyse isthmique bilatérale acquise.

Les SPL peuvent s'aggraver et avoir des répercussions sur l'équilibre rachidien et la moelle épinière. Ils sont donc recherchés grâce à la réalisation de clichés simples afin de déterminer l'aptitude dans certains emplois, en particulier chez le militaire.

M. GARETIER, interne des HA. S. CHINELLATO, interne des HA. C. BARBEROT, interne des HA, Y. FEUVRIER, médecin principal (r). T. LE BIVIC, médecin en chef, praticien certifié. J. ROUSSET, médecin en chef, praticien certifié.
Correspondance : M. GARETIER, service d'imagerie médicale, HIA Clermont-Tonnerre, BCRM de Brest, CC 41 – 29240 Brest Cedex 9.
E-mail : marc.garetier@wanadoo.fr

À partir d'une série rétrospective de 19 cas de SPL dépistés pendant un an pour bilan d'aptitude, nous nous sommes intéressés aux paramètres d'évaluation radiologique du SPL, aux particularités de cette pathologie et à sa classification en terme d'aptitude dans les armées françaises.

Classification et étiologies

Classification

On retient habituellement six causes décrites par Wiltse pour les SPL lombaires (2). Deux se rencontrent plus fréquemment chez les sujets jeunes : la dysplasie congénitale responsable d'un allongement de l'isthme ou *pars interarticularis* (type 1) et la lyse isthmique acquise (type 2). La lyse isthmique bilatérale est cependant la cause la plus fréquente de SPL avant 50 ans (3). Les autres causes sont l'arthrose (type 3) (cause la plus fréquente après 50 ans), une fracture macrotraumatique (type 4),

une pathologie osseuse sous-jacente comme une tumeur (type 5), ou iatrogénique suite à une intervention rachidienne (type 6).

Plus récemment, Marchetti propose une nouvelle classification, regroupant les causes développementales sur dysplasie congénitale en type 1 et les causes acquises en type 2. Le type 1 est divisé en deux sous-groupes, le sous-groupe A correspondant à une lyse isthmique surajoutée à un allongement isthmique et le sous-groupe B à un allongement isthmique pur. Le type 2 comprend quatre sous-groupes. Le sous-groupe A regroupe les causes traumatiques, soit macrotraumatique (A1) soit microtraumatique à l'origine d'une fracture de fatigue (A2). Les sous-groupes B, C et D correspondent aux origines iatrogènes, pathologiques ou dégénératives respectivement (4).

Étiologies

La lyse isthmique est secondaire à de multiples microfractures par sollicitation intense du rachis lombaire et de la charnière lombosacrée, clé de voute du squelette axial (5). Cinquante pour cent des forces de contrainte exercées sur le rachis passent par l'arc postérieur (6). Apparentée à une fracture de fatigue, elle est d'origine acquise, car des études radiographiques portant sur des nouveau-nés ne retrouvent aucune lyse isthmique (7). Elle n'est pas retrouvée chez les humains qui n'ont jamais marché (8) et chez les primates qui ne marchent pas sur deux pattes (9). Elle survient principalement pendant l'enfance après 5 ans, probablement liée à l'acquisition de la lordose par cisaillement de l'isthme entre l'articulaire inférieure de la vertèbre sus-jacente et l'articulaire supérieure de la vertèbre sous-jacente (10). Il existe probablement une prédisposition génétique du fait d'une augmentation de la prévalence de spondylolyse dans la famille d'un enfant présentant cette anomalie (11).

Épidémiologie, évolution et clinique

Épidémiologie

Le *sex ratio* est deux hommes pour une femme (11). L'analyse de la littérature retrouve des chiffres de prévalence du SPL par lyse isthmique variables. Elle est estimée au minimum entre 1 et 2 % dans la population de race blanche (12), et jusqu'à 5,1 % dans certaines études (13). Le travail le plus récent retrouve une prévalence à 3,1 % dans une population de 510 sujets caucasiens sans plainte rachidienne, avec un SPL de grade I de Meyerding dans 13 cas et un SPL de grade II dans 3 cas (14). Cette classification de Meyerding consiste à diviser en quatre parts égales le plateau supérieur de S1, le grade I correspondant à une projection du mur postérieur de L5 sur le premier quart et le grade IV sur le dernier quart. Le grade V correspond à une spondyloptose avec perte de tout rapport entre les surfaces de L5 et de S1 (15).

La prévalence du SPL est augmentée chez les sportifs de haut niveau. Chez 4 243 athlètes, elle est évaluée à 6,6 % avec un grade I dans 75,5 % des cas de SPL, un grade II dans 23,1 % des cas et un grade III dans 1,43 % des cas (16). Les sports les plus concernés sont le plongeon (40,35 % des cas), la lutte (25 %), l'haltérophilie (22,32 %) et la gymnastique (16,64 %). Ils soumettent le rachis lombaire à des mouvements d'hyperflexion/hyperextension, à des contraintes de rotation (17) et à des forces axiales (18). Dans une étude réalisée au sein du milieu militaire, un SPL est découvert chez 2,2 % des 936 candidats à l'engagement, tous asymptomatiques, et chez 5,3 % des 662 militaires se plaignant de lombalgie (19).

Le parachutisme implique des forces de contrainte sur le rachis, similaires à celle des sports responsables d'une augmentation de la spondylolyse (18), à l'ouverture du parachute et à la réception au sol (20). Il peut être à l'origine de lésions du rachis, notamment de fracture vertébrale. Le rôle du parachutisme sur le SPL est controversé. Sur une population de 46 parachutistes militaires retraités, Murray retrouve un SPL (grade I) chez quatre sujets symptomatiques (8,7 %). Ces chiffres sont augmentés par rapport à la population générale, même si l'échantillon est de petite taille, mais l'auteur ne considère pas le parachutisme comme un facteur de risque (21). Sur 70 bérets verts parachutistes américains, Rodrigo observe 4,2 % de SPL (22). Ce chiffre est superposable à celui de la population générale. Cependant, ces études sur les parachutistes portent sur des petits échantillons.

Évolution

Certaines études montrent que lorsque le rachis est en compression axiale, par exemple lors d'un port d'une charge lourde ou d'un sac à dos (ou d'un parachute), une augmentation significative de la translation antérieure est notée par rapport à un groupe témoin (23). La flexion/extension participe également à cette majoration du glissement (24). Cependant, sur 19 cas de SPL, Rossi ne montre pas de modification du déplacement antérieur du spondyle après des manœuvres de flexion/extension du rachis lombaire (16).

Chez 86 athlètes adolescents, Muschik retrouve l'apparition ou la progression d'un glissement chez 33 sujets (44 %), en moyenne de 10,5+/- 4,7 % selon la méthode de Taillard (rapport de la zone découverte du plateau supérieur de S1 sur le plateau complet) (25). Fait étonnant, il observe une diminution du glissement dans sept cas. Aucun sujet ne présente de symptôme tout au long de l'étude. Il considère donc que le sport de compétition n'affecte pas la progression du SPL et qu'il n'y a pas lieu d'interrompre le sport complètement chez les jeunes athlètes avec un SPL asymptomatique (26).

Deux études montrent qu'il n'y a pas de risque de progression de la spondylolyse en SPL sur un squelette mature (27, 28). Ceci est cependant contredit par de nombreuses autres études.

Ainsi, Bar-Dayan retrouve une spondylolyse bilatérale évoluant vers un SPL chez deux des dix instructeurs parachutistes avec une spondylolyse bilatérale (20). Sur 22 adultes suivis au long cours par des radiographies, Ohmori retrouve une évolution de la spondylolyse en SPL avec un glissement mesuré à 16,6 +/-5,1 % selon la méthode de Boxall (rapport de la zone découverte du plateau supérieur de S1 sur le diamètre antéropostérieur

du corps de L5) (29), dans 5 cas sur 18 et une progression du SPL dans tous les cas, de 15,5 %+/- 3,6 % à 21,5 +/-5 %, sans notion de traumatisme (30).

L'analyse de littérature faite par Taillard en 1969 montre qu'un traumatisme banal peut transformer une lyse préexistante en un glissement ou augmenter un glissement préexistant (31).

Chez 18 sujets adultes avec SPL, Floman retrouve une progression moyenne du glissement de 14,6 % (9 à 30 %) selon la méthode de Boxall, parallèlement à l'apparition de remaniements dégénératifs disco-vertébraux. Ces deux phénomènes sont associés à l'apparition de lombalgies (32). Il n'existe pas de différence significative dans la progression du glissement en fonction du glissement initial.

Les pilotes sont également soumis à un stress sur le rachis, lors des accélérations pour les pilotes de chasse ou par vibration pour les pilotes d'hélicoptère. Sur 16 pilotes avec SPL suivis par radiographies standard pendant 12 à 131 mois, Froom objective une progression du SPL seulement chez un pilote d'hélicoptère (33)

De manière synthétique, Lindholm retient comme facteurs de risque de progression du glissement en analyse univariée : le sexe féminin, la prépuberté, un angle de glissement augmenté, un corps vertébral L5 de forme trapézoïdale, un sacrum verticalisé et bombé, une rotation sagittale (34).

Clinique

Lorsqu'il est symptomatique, le SPL se manifeste le plus souvent par une lombalgie basse. Une radiculalgie peut être associée. Elle concerne essentiellement la racine L5 qui est comprimée dans le foramen intervertébral. Cependant, la majorité des SPL par lyse isthmique sont asymptomatiques (35). De plus, des remaniements dégénératifs associés sont souvent responsables de la symptomatologie (18). Une déformation en cyphose lombosacrée peut s'observer en cas de glissement de L5 et de verticalisation du bassin.

Estimation de l'incidence du spondylolisthésis dans un groupe de militaires français

Six-cents quatre-vingt militaires français (636 hommes et 44 femmes, âge moyen 23 ans) ont bénéficié de clichés du rachis lombaire de face et de profil dans notre service pour détermination de l'aptitude sur une période d'un an. Nous avons retrouvé 19 cas de SPL, soit une incidence de 2,79 % dans cette population, dont 17 SPL de grade I de Meyerding et deux de grade II. Un seul patient (SPL de grade II) présentait des lombalgies chroniques.

L'incidence observée dans ce groupe est comparable à celle retrouvée dans la littérature. Elle ne peut cependant pas être extrapolée à la population de militaires français compte tenu d'un biais de sélection.

Évaluation radiologique

Radiographie standard

Le diagnostic de SPL est radiologique. Le glissement est détecté par le cliché de profil du rachis lombaire. La lyse isthmique peut être visible sur ce cliché (fig. 1), mais elle est très bien visualisée sur l'incidence de trois-quarts au niveau du cou du « petit chien » (fig. 2). Elle apparaît comme une ligne claire oblique en bas et en avant, de la

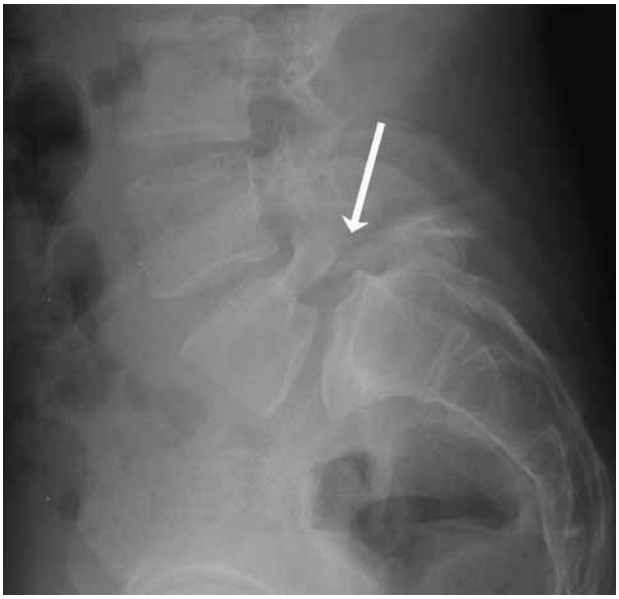


Figure 1. Cliché de profil de la charnière lombo-sacrée chez un patient lombalgique dans le cadre de l'aptitude. SPL L5/S1 de grade II de Meyerding. Lyse isthmique bien visible (flèche) avec décalage postérieur du processus épineux de L5.



Figure 2. Cliché de trois-quarts de la charnière lombo-sacrée chez un patient asymptomatique dans le cadre de l'aptitude. Lyse isthmique au niveau du cou du « petit chien » de L5 (flèche), le museau correspondant au processus transverse, l'œil au pédicule, le corps à la lame, la patte antérieure au processus articulaire inférieur, l'oreille au processus articulaire supérieur et le cou à l'isthme.

partie postéro-supérieure à la partie antéro-inférieure du massif articulaire vertébral. Le cliché à 30° d'inclinaison crâniale de face de la charnière lombo-sacrée permet de dégager les superpositions osseuses et de mieux analyser l'isthme (fig. 3), pouvant ainsi détecter une lyse unilatérale associée à une hypertrophie et une condensation du pédicule opposé (anisocorie pédiculaire ») (36). Le trait de fracture ne consolide pas en général, mais il peut se former en périphérie de ce trait un nodule parfois calcifié appelé nodule de Gill (37).



Figure 3. Cliché de face à 30° d'inclinaison crâniale de la charnière lombo-sacrée chez un patient asymptomatique dans le cadre de l'aptitude. Lyse isthmique bilatérale de L5 (flèches).

Paramètres d'évaluation

Il existe plusieurs paramètres d'évaluation du SPL. Le système le plus fréquemment utilisé et le plus simple est la méthode de Meyerding précédemment décrite, qui classe le SPL en cinq grades (fig. 4a). Les grades I et II sont dits de bas-grades. Les grades III à V sont dits de haut-grades (15).

La gravité du SPL peut également être évaluée par le pourcentage de glissement sur S1, que ce soit par la méthode de Taillard (fig. 4b) ou celle de Boxall précédemment décrites. La méthode de Meyerding et la méthode de Taillard ont une excellente concordance inter et intra observateur (38), ce qui n'a pas été étudié pour la méthode de Boxall.

La cyphose résultante peut être évaluée par l'angle de glissement de Boxall entre le plateau inférieur de L5 et une ligne perpendiculaire au mur postérieur de S1 (fig. 4c). Les valeurs normales sont comprises entre -10° et 0°. Une valeur supérieure à 55° est associée à un haut risque de glissement (29). Elle peut être également évaluée par l'angle lombosacré de Dubousset formé par le bord supérieur de L5 et le bord postérieur de S1 (fig. 4d). Cet angle est normalement supérieur à 100°. On considère qu'il y a cyphose sévère si cet angle est inférieur à 90°. Cet angle s'aggrave, donc diminue, en position debout et augmente en position couchée (39). Ces deux angles sont les plus intéressants concernant le pronostic de la maladie et l'indication chirurgicale. Ces deux mesures ont une bonne concordance intraobservateur, mais seul l'angle de glissement de Boxall a une bonne concordance interobservateur (38).

Il existe une forte corrélation entre le pourcentage de glissement et l'angle de glissement. Quand le déplacement augmente, cet angle diminue (26).

Le SPL serait également associé à un indice pelvien augmenté, supérieur à 77°. En effet, un indice pelvien augmenté traduit des forces de contrainte élevées sur la charnière lombosacrée (5). Cet angle est mesuré entre une droite reliant le centre des têtes fémorales au centre du plateau sacré et une droite perpendiculaire au centre du plateau sacré (fig. 5).

Dans les armées françaises, la décision médico-militaire se base sur les clichés standards. D'après l'Instruction ministérielle 2100, la sévérité du SPL est estimée en divisant en trois parts égales : le plateau sacré (fig. 6), le type 1 correspond à une projection du mur postérieur de L5 dans le premier tiers et le type 3 dans le troisième tiers (40). Il s'agit d'une méthode non retrouvée dans la littérature et non évaluée à notre connaissance. Ainsi, il existe un risque de confusion pour les grades II et III de Meyerding, étant respectivement à cheval entre les types 1 et 2 d'une part, et entre les types 2 et 3 d'autre part selon la classification retenue dans l'Instruction ministérielle 2100.

Autres techniques d'imagerie

Le scanner permet de s'affranchir des superpositions osseuses. Il est réalisé en cas de doute diagnostique. Il visualise plus précisément la lyse grâce aux reconstructions obliques (fig. 7a, 7b) (41).

L'Imagerie par résonance magnétique (IRM) est réalisée pour évaluer le retentissement sur les racines nerveuses en cas de déformation du foramen de conjugaison (fig. 8). Elle peut montrer une inflammation en périphérie de la lyse si elle est récente, sous forme d'un hyposignal T1 et hypersignal T2. Elle est utile afin d'explorer les diagnostics différentiels à l'origine de la lombalgie (hernie discale…), et permet d'évaluer l'hydratation du disque dans le cadre du bilan préopératoire (3).

La scintigraphie osseuse au Technétium^{99m} (^{99m}Tc), montrant une hyperfixation en regard d'une lyse récente (fig. 9), est sensible mais non spécifique.

Prise en charge et aptitude

Prise en charge

Dans les formes symptomatiques, le traitement est le plus souvent et en premier lieu conservateur, associant repos, traitement antalgique et kinésithérapie. Un traitement orthopédique par immobilisation adéquate à l'aide d'un lombostat est proposé en cas de lombalgie aiguë. Le traitement chirurgical concerne 10 à 20 % des patients ; il est proposé en cas d'échec du traitement médical ou de signes neurologiques moteurs.

La découverte fortuite d'un SPL par lyse isthmique chez des patients asymptomatiques nécessite d'informer le patient. Une surveillance radiologique annuelle doit être proposée pendant la croissance. Une restriction des

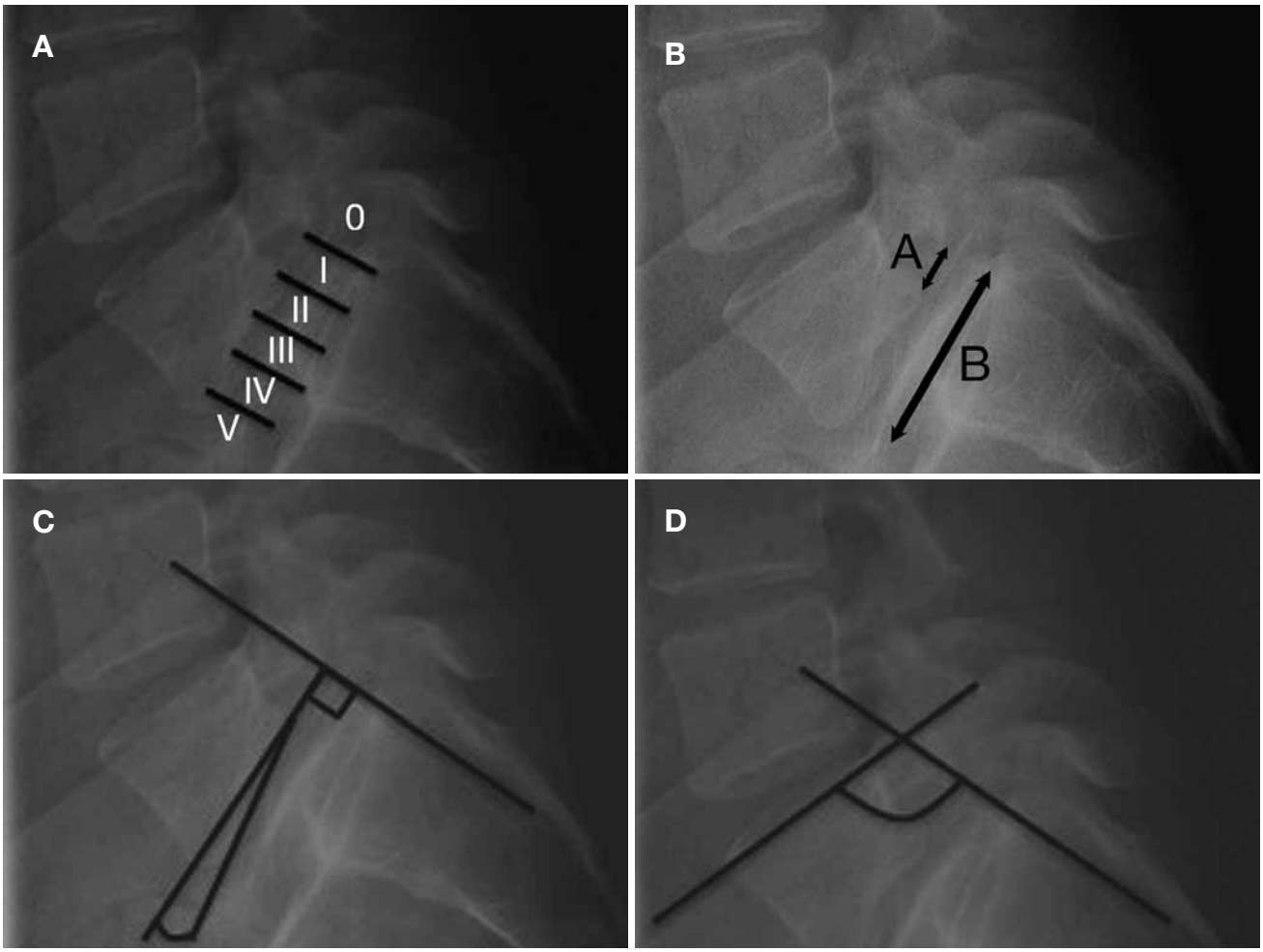


Figure 4. Cliché de profil de la charnière lombo-sacrée chez un patient asymptomatique dans le cadre de l'aptitude. a. La classification de Meyerding consiste à diviser le plateau de S1 en quatre portions égales. b. Le pourcentage de glissement est estimé par le rapport A/B. c. L'angle lombosacré est mesuré entre la droite passant par le mur postérieur de S1 et la droite passant par le plateau supérieur de L5. d. L'angle de glissement est mesuré entre la droite perpendiculaire au mur postérieur de S1. et la droite passant par le plateau inférieur de L5.

activités physiques et sportives est préconisée chez les adolescents pratiquant des sports en extension et à haut niveau (gymnastique, danse…), notamment en cas de forme sévère (grades III et IV de Meyerding) (35).

Aptitude

Le SPL par lyse isthmique est incompatible avec certains emplois dans les armées et fait donc l'objet d'une évaluation radiologique pour aptitude. Cette affection est référencée au sein de l'Instruction ministérielle 2100, chapitre II « Étude topographique des affections du système locomoteur », section A « Rachis », article 105 « Spondylolyse bilatérale ». Il est noté au sein de l'évaluation de l'état général, lettre G du SYGICOP. La découverte d'un SPL lombaire L5 sur S1 sera classée différemment selon son type, estimé en divisant en trois parts égales le plateau sacré. Le type 1 sera noté G = 2. Au-delà, il sera noté G = 3 à 6 selon son importance et son retentissement sur l'équilibre rachidien et la clinique (40). Ainsi, un classement G = 3 sera à l'origine d'une inaptitude à l'admission dans la Marine, au service à la mer, aux opérations extérieures, mais également pour l'emploi dans les troupes aéroportées ou chez les fusiliers commandos. Un classement G = 2 sera à l'origine d'une inaptitude à l'emploi de plongeur démineur dans la Marine ou plongeur catégorie II dans la Gendarmerie.

Discussion

La classification de Meyerding nous semble la plus adaptée afin de grader et de suivre l'évolution du SPL, celle-ci étant la plus utilisée en pratique courante de manière internationale, et présentant une excellente concordance inter et intraobservateur (38). La classification du SPL utilisée dans la détermination de l'aptitude n'est pas connue en dehors des armées françaises. Il nous semble donc important d'avoir un seul système de classification connu de tous, évitant des avis divergents entre deux lectures des clichés. Les propositions de l'Instruction ministérielle 2100 pour la



Figure 5. Cliché de profil du rachis lombo-sacré chez un patient asymptomatique dans le cadre de l'aptitude. L'indice pelvien est l'angle entre la droite reliant le centre des têtes fémorales au centre du plateau sacré et la perpendiculaire au centre du plateau sacré.



Figure 6. Cliché de profil de la charnière lombo-sacrée (même patient que pour la figure 4). La classification proposée par l'IM 2100 consiste à diviser le plateau de S1 en trois portions égales. Ici un SPL de grade 1.



Figure 7. Scanner du rachis lombaire chez un patient asymptomatique dans le cadre de l'aptitude. Coupe axiale : lyse isthmique bilatérale en L5 (a). Reconstruction oblique : le site de la lyse se situe entre les massifs articulaires inférieur de L4 et supérieur de S1. On comprend les contraintes auxquelles il peut être soumis par des manœuvres de flexion/extension à l'origine d'un effet « coupe-cigare » sur le cliché sagittal (b).

catégorisation G concernant cette affection pourraient donc se baser sur la classification de Meyerding. Ainsi, en calquant les propositions actuelles, un grade I de Meyerding pourrait être classé G = 2, avec surveillance radiologique annuelle, et un grade II ou plus G = 3 à 6.

Cependant, un SPL préexistant peut se majorer à l'âge adulte, quelque soit son grade initial, associé à l'apparition de symptômes (32). Certains facteurs, comme l'augmentation des forces de compression axiale, peuvent en théorie aggraver ce glissement. Un SPL devrait donc être une cause d'inaptitude quelque soit son grade pour certains emplois à risque, notamment dans les troupes aéroportées et les commandos, afin de ne pas altérer les capacités opérationnelles de ces unités. Des clichés du rachis lombaire de face et de profil doivent être systématiquement réalisés avant la détermination de ces aptitudes.



Figure 8. IRM pondération T2 coupe sagittale du rachis lombaire. Antélisthésis L5/S1 rétrécissant nettement le foramen de conjugaison L5/S1 avec effet de masse sur la racine L5 (flèche) chez un jeune patient symptomatique malgré le traitement conservateur.

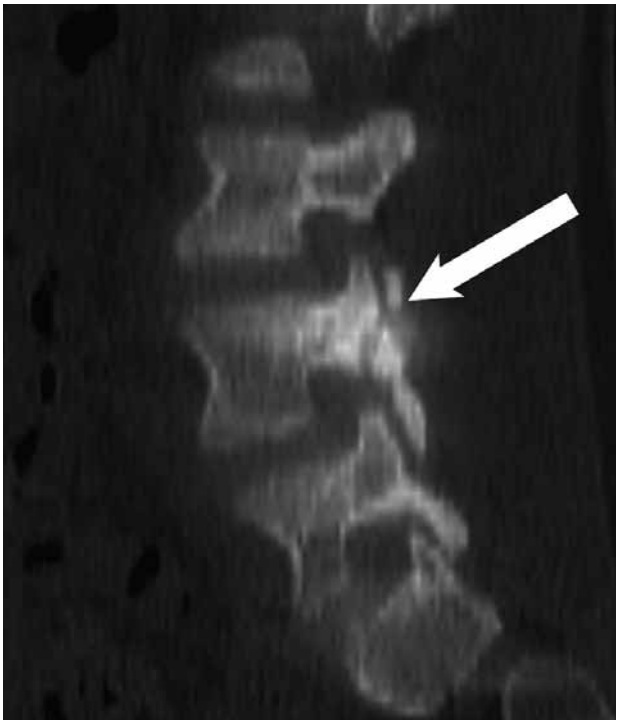


Figure 9. Scintigraphie osseuse au ^{99m} Tc couplée au scanner. Hyperfixation en regard d'une lyse isthmique de L4 (flèche) chez une jeune danseuse de plaignant de lombalgies aigues.

Conclusion

Le dépistage et le suivi du SPL par des examens d'imagerie restent indispensables dans le cadre de la détermination de l'aptitude médicale à servir en raison de la majoration de la lésion occasionnée par certains emplois. La décision médico-militaire concernant cette affection est fondée sur l'interprétation radiologique.

Cependant, la méthode d'évaluation établie dans l'IM 2100 diffère de celle habituellement utilisée par les radiologues civils. Elle ne permet pas un suivi reproductible au long cours du glissement, d'autant plus que la méthode de mesure utilisée par le radiologue peut varier d'un centre à l'autre.

De plus, il nous semblerait plus prudent d'élargir les critères d'inaptitude dans les emplois à risque compte tenu de l'évolution possible, voire inéluctable, de ce glissement, associée à l'apparition de symptômes.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. Libson E, Bloom RA, Dinari G, Robin GC. Oblique lumbar spine radiographs: importance in young patients. Radiology. 1984;151:89-90.
2. Wiltse LL, Newman PH, Macnab I. Classification of spondylolysis and spondylolisthesis. Clin Orthop. 1976;117:23-9.
3. Butt S, Saifuddin A. The imaging of lumbar spondylolisthesis. Clin Radiol. 2005;60:533-46.
4. Marchetti PG, Bartolozzi P. Classification of spondylolisthesis as a guideline for treatment. In: Bridwell KH, Dewald RL, eds. The textbook of spinal surgery. Philadelphia: Lippincott Raven; 1997: 1211-56.
5. Hammerberg KW. New concepts on the pathogenesis and classification of spondylolisthesis. Spine. 2005;30: S4-S11.
6. Hutton WC, Stott JRR, Cyron BM. Is spondylolysis a fatigue fracture? Spine. 1977; 2: 202-9.
7. Wiltse LL, Widell EH Jr, Jackson DW. Fatigue fracture: the basic lesion in isthmic spondylolisthesis. J Bone Joint Surg Am. 1975;57: 17-22.
8. Rosenberg NJ, Bargar WL, Friedman B. The incidence of spondylolysis and spondylolisthesis in nonambulatory patients. Spine. 1981;6:35-8.
9. Schults A. Age changes and variability in gibbons. A morphological study on a population sample of man-like ape. Am J Phys Anthropol. 1944;2:11-20.
10. Hensinger RN. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. J Bone Joint Surg Am. 1989;71:1098-107.
11. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, Yuan HA, Lubicky JP. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. J Bone Joint Surg Am. 1984 66:699-707.
12. Dickson RA. Spine: spondylolisthesis. Curr Orthop. 1998;12:273-82.
13. Leboeuf C, Kimber D, White K. Prevalence of spondylolisthesis, transitional anomalies and low intercrestal line in a chiropractic patient population. J Manipulative Physiol Ther. 1989;12:200-4.
14. Belfi LM, Ortiz AO, Katz DS. Computed tomography evaluation of spondylysis and spondylolisthesis in asymptomatic patients. Spine. 2006;31:E907-10.

15. Meyerding HW. Spondylolisthesis. Surg Gynecol Obstet. 1932; 54: 371-7.
16. Rossi F, Dragoni S. The prevalence of spondylolysis and spondylolisthesis in symptomatic elite athletes: radiographic findings. Radiography. 2001;7:37-42.
17. Weir MR, Smith DS. Stress reaction of the pars interarticularis leading to spondylolysis. A cause of adolescent low back pain. J Adolesc Health Care. 1989;10:573-7.
18. Kirkpatrick AW. Spondylolysis and spondylolisthesis in military parachutists. Mil Med. 1991;156:687-90.
19. Libson E, Bloom RA, Dinari G. Symptomatic and asymptomatic spondylolysis and spondylolisthesis in young adults. Int Orthop. 1982;6:259-61.
20. Bar-Dayan Y, Weisbort M, Bar-Dayan Y, Velan GJ, Ravid M, Hendel D, et al. Degenerative disease in lumbar spine of military parachuting instructors. J R Army Med Corps. 2003;149:260-4.
21. Murray-Leslie CF, Lintott DJ, Wright V. The spine in sport and veteran military parachutists. Ann Rheum Dis. 1977;36:332-42.
22. Rodrigo JJ, Boyd RE. Lumbar spine injuries in military parachute jumpers. Phys Sportsmed. 1979;7:123-33.
23. Kalebo P, Kadziolka R, Sward L. Compression-traction radiography of lumbar segmental instability. Spine. 1990;15:351-5.
24. Bono CM. Low-back pain in athletes. J Bone Joint Surg Am. 2004; 86-A(2):382-96
25. Taillard W. Les spondylolisthésis. Paris: Masson;1957.
26. Muschik M, Hähnel H, Robinson PN, Perka C, Muschik C. Competitive sports and the progression of spondylolisthesis. J Pediatr Orthop. 1996;16:364-9.
27. Semon RL, Spengler D. Significiance of lumbar spondylolysis in college football players. Spine. 1981;6:172-4.
28. Comandre FA. Spondylolysis and spondylolisthesis in young athletes: 28 cases. J Sports Med. 1988;28:104-7.
29. Boxall D, Bradford DS, Winter RB, Moe JH. Management of severe spondylolisthesis in children and adolescents. J Bone Joint Surg Am. 1979;61:479-95.
30. Ohmori K, Ishida Y, Takatsu T, Inoue H, Suzuki K. Vertebral slip in lumbar spondylolysis and spondylolisthesis. Long-term follow-up of 22 adult patients. J Bone Joint Surg Br. 1995;77:771-3.
31. Taillard W. Traumatisme et spondylolisthesis. Acta Orthopaedica Belgica. 1969;35:703-16.
32. Floman Y. Progression of lumbosacral isthmic spondylolisthesis in adults. Spine. 2000;25:342-7.
33. Froom P, Ribak J, Tendler Y, Cyjon A, Kriwisky M, Gross M. Spondylolisthesis in pilots: a follow-up study. Aviat Space Environ Med. 1987;58:588-9.
34. Lindholm TS, Ragni P, Ylikoski M, Poussa M. Lumbar isthmic spondylolisthesis in children and adolescents. Radiologic evaluation and results of operative treatment. Spine. 1990;15:1350-5.
35. Vital JM, Pedram M. Spondylolisthésis par lyse isthmique. EMC (Elsevier SAS, Paris), Appareil locomoteur, 15-835-A-10,2005.
36. Libson E, Bloom RA. Anteroposterior angulated view: a new radiographic technique for the evaluation of spondylolysis. Radiology. 1983;149:315-6.
37. Le Huec JC, Moinard M, Daulouede C, Thomas D, Liquois F, Chauveaux D. Spondylolisthésis par lyse isthmique chez le sportif : diagnostic clinique, imagerie et traitement. Sci Sports. 1999;14:15-23.
38. Timon SJ, Gardner MJ, Wanich T, Poynton A, Pigeon R, Widmann R, et al. Not all spondylolisthesis grading instrument are reliable. Clin Orthop Relat Res. 2005;434:157-62.
39. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents. Clin Orthop. 199;337:77-85.
40. Instruction ministérielle N° 2100/DEF/DCSSA/AST/AME du 1er octobre 2003 relative à la détermination de l'aptitude médicale à servir.
41. Gervaise A, Naulet P, Pernin M, Darbois H, Girodeau A. Intérêt de l'imagerie dans le diagnostic des fractures de fatigue du militaire. Médecine et Armées, 2008;36:353-8.