



Disponible en ligne sur

ScienceDirect
www.sciencedirect.com

Elsevier Masson France

EM|consulte
www.em-consulte.com



Chirurgie du rachis et spondylarthrite



Spinal surgery in ankylosing spondylitis

Jean-Marc Vital^{a,*}, Louis Boissière^a, Ibrahim Obeid^a, Mehdi Boudissa^a, Elliot Pascal^a,
Khader Hadhri^b, Olivier Gille^a

^a Unité rachis 1, hôpital Tripode, CHU de Bordeaux, place Amélie Raba Léon, 33076 Bordeaux, France

^b Service d'orthopédie, CHU de Charles Nicolle, boulevard 9 avril, 1006 Tunis, Tunisie

INFO ARTICLE

Historique de l'article :

Accepté le 16 janvier 2015

Disponible sur Internet le 20 mars 2015

Mots clés :

Spondylarthrite

Chirurgie du rachis

Fractures

Déséquilibre antérieur

Pseudarthrose

Ostéotomie

RÉSUMÉ

La chirurgie du rachis dans la spondylarthrite comprend l'ostéosynthèse (arthrodèse) pour stabiliser les fractures et les ostéotomies pour corriger les déséquilibres antérieurs sévères. Les fractures avec troubles neurologiques ont un pronostic vital très réservé. Les fractures sans troubles neurologiques sont de diagnostic difficile car elles peuvent survenir lors de traumatismes minimes et elles touchent souvent les charnières notamment, cervico-thoracique. Dans tous ces cas de fractures, l'ostéosynthèse doit être étendue pour stabiliser les très grands bras de levier que constituent les fragments rachidiens enraidis. Les pseudarthroses sont fréquentes en raison de retard diagnostic ou de traitement inapproprié, notamment orthopédique. Dans les cas de déséquilibre antérieur sévère, la prothèse totale de hanche peut se discuter en premier, s'il existe une coxite invalidante. Les ostéotomies, qui consistent à réaliser une résection en coin antérieur de la colonne vertébrale pour la ramener en arrière, s'appliquent le plus souvent en région lombaire, plus rarement en région cervicale ou pelvienne. L'ensemble de ces chirurgies se caractérise par leur difficulté (installation, intubation, ostéopénie) et par la relative fréquence des complications. Néanmoins, la chirurgie assure la consolidation et un retour à l'état initial dans le cas de fracture et une amélioration nette de l'état fonctionnel dans le cas d'ostéotomies.

© 2015 Publié par Elsevier Masson SAS pour la Société française de rhumatologie.

ABSTRACT

Spine surgery in patients with ankylosing spondylitis includes osteosynthesis (arthrodesis) in order to stabilise fractures and osteotomy to correct severe anterior imbalance. Fractures with neurological symptoms can be life-threatening. Fractures without neurological deficits are difficult to diagnose because they can result from minor trauma and often involve spinal junctions, notably the cervicothoracic junction. In all cases of fractures, osteosynthesis should be extended to stabilise the powerful leverage created by the stiffened intervertebral segments. Pseudarthrosis occurs frequently, typically because of diagnostic delays, or improper management, especially orthopaedic treatment. Regarding severe anterior imbalance, total hip replacement should be considered first in cases of concurrent disabling coxitis. Osteotomies, which consist in opening an anterior wedge in the spine to rotate the cephalad portion posteriorly, are most often performed in the lumbar spine, and only rarely in the cervical or pelvic regions. Regardless of where they are performed, osteotomies are characterised by many demanding aspects (installation, intubation, osteopenia) and a high incidence of complications. Nevertheless, surgery ensures consolidation and recovery of baseline status in cases of fracture, and a marked improvement in functional status when osteotomies are performed.

© 2015 Published by Elsevier Masson SAS on behalf of the Société française de rhumatologie.

Keywords:

Ankylosing spondylitis

Spine surgery

Fractures

Anterior imbalance

Pseudarthrosis

Osteotomy

La fréquence des chirurgies indiquées pour la spondylarthrite diminue, probablement grâce aux traitements médicaux anti-inflammatoires [1], de façon plus discutée anti-TNF [2] et plus certainement, par une prise en charge précoce des formes mineurs de la maladie.

* Auteur correspondant.

Adresse e-mail : jean-marc.vital@chu-bordeaux.fr (J.-M. Vital).

Cette chirurgie rare est appliquée principalement aux fractures sur rachis enraidit ou aux ostéotomies corrigeant un trouble sévère de l'équilibre sagittal.

Nous verrons que cette chirurgie est exposée à de fréquentes complications, liées à l'état local de la colonne vertébrale et aux conditions générales du patient.

Nous commencerons par décrire le traitement par arthrodèse instrumentée des fractures récentes rachidiennes sur spondylarthrite, pouvant conduire, si non reconnues à temps, à une pseudarthrose constituant un chapitre à part. Nous discuterons ensuite des modalités de correction des troubles de l'équilibre sagittal au moyen d'ostéotomies pratiquées en région lombaire ou cervicale basse, thoracique, et même pelvienne. Nous terminerons par des lésions plus rares comme l'instabilité sous occipitale (subluxation rotatoire C1C2 ou impression basilaire), le canal lombaire étroit et les kystes arachnoïdiens.

1. Généralités

Sur le plan clinique, l'enraidissement conduit à des pertes de la mobilité des hanches, de la lordose lombaire et à une hypercyphose thoracique, obligeant le patient atteint d'une forme évoluée, à marcher en regardant ses pieds. Ces déformations entraînent des problèmes psychologiques.

Quelle que soit la pathologie chirurgicale rachidienne, l'état péri-anesthésique est modifié par plusieurs facteurs défavorables : mauvais état nutritionnel (dû à l'iléo-colite) et problèmes respiratoires en rapport avec une ankylose des côtes. Ces derniers peuvent conduire à une ventilation post-opératoire prolongée, à une intubation difficile liée à la cyphose cervico-thoracique et à la raideur des articulations temporo-maxillaires. L'intubation sous fibroscopie ou parfois la trachéotomie sont fréquemment utilisées. L'anesthésie locale évitant cette intubation a été abandonnée.

Sur le plan chirurgical, la cyphose rachidienne globale impose une installation complexe du patient avec l'utilisation d'appuis spécifiques.

L'ostéopénie fréquente peut entraîner des fractures quasi spontanées et très peu déplacées traitées éventuellement par vertébroplastie [3].

Le bilan radiologique comprendra :

- pour la traumatologie : des radiographies simples, face et profil, centrées sur la région suspecte, notamment les charnières, la tomodensitométrie, complément indispensable, et parfois l'I.R.M. (ou la scintigraphie-scanner) pour détecter des lésions minimes ;
- pour l'évaluation de l'équilibre sagittal (Fig. 1) : des clichés face et profil, type EOS de l'ensemble de la colonne vertébrale font état de l'équilibre global. Ils renseignent sur les angles menton-front/verticale (« chin-brow vertical angle » des anglosaxons), d'incidence pelvienne déterminant la lordose lombaire, de version pelvienne indiquant une rétroversion marquée chez ces patients déséquilibrés, sur l'axe conduits auditifs externes (C.A.E.)/tête de fémur (T.F.) normalement vertical (les C.A.E. tombent ici en avant des T.F.), sur la gîte de T1 et enfin sur l'angle fémoro-tibial du genou, égal normalement à 0° mais qui se positive du fait du flectum de genou, deuxième système compensateur après la rétroversion pelvienne, pour corriger le déséquilibre antérieur. Debarge et Roussouly [4] ont décrit l'angle spino-sacré construit entre la droite passant par les milieux du corps de C7 et du plateau sacré et la droite correspondant plateau sacré lui-même. Cet angle apprécie à la fois le déplacement de C7 en avant et la rétroversion du bassin ; il est faible dans les grands déséquilibres et augmentera après ostéotomie de correction.

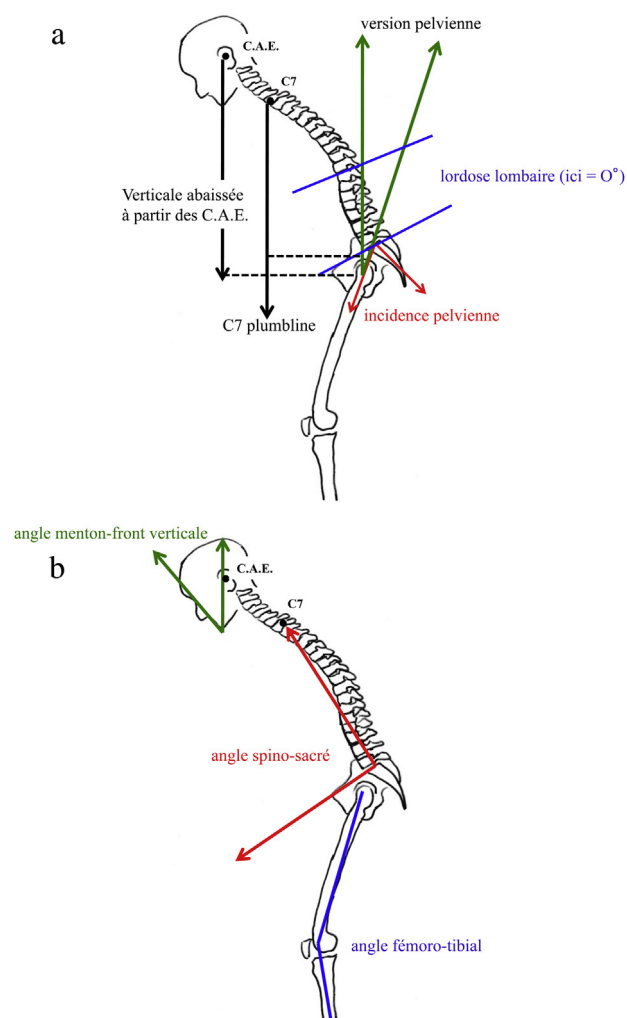


Fig. 1. a : principaux angles pour évaluer le déséquilibre sagittal ; b : principaux angles pour évaluer le déséquilibre sagittal.

2. Les fractures rachidiennes récentes dans la spondylarthrite

D'après Weinstein [5], le risque de fracture rachidienne est augmenté par 4 dans la spondylarthrite. D'après Rowed [6], ce risque est retrouvé au niveau cervical bas chez des patients dont la maladie évolue depuis au moins 25 ans. Elle est due à une simple chute dans 36 % des cas. Comme vu précédemment, il existe des fractures spontanées sans aucun traumatisme dues à l'ostéopénie. La fréquence du traumatisme causal minime explique les difficultés et le retard fréquent de diagnostic. Dans la méta-analyse de Westerveld [7], on compte 81 % de fractures cervicales basses, 10 % de thoraciques pures et 8 % de lombaires pures. Les lésions étagées sont possibles. Leur évolution naturelle expose à l'aggravation de la cyphose, à la pseudarthrose (Fig. 2) et à l'aggravation des troubles neurologiques par déplacement secondaire au niveau du foyer de fracture (Fig. 3) ou par hématome épidual (Thumbirat [8], Jacob [9]). La présence de troubles neurologiques immédiats s'observe surtout dans les traumatismes en hyperextension (74 % selon Westerveld [7]).

On retrouve 29 % de troubles neurologiques dans la série de Weinstein [5] et 67 % selon Westerveld [7]. Le pronostic vital de ces tétraplégiques post-traumatiques sur spondylarthrite est sévère : Kouyoumdjian [10] note 100 % de décès chez les patients de plus de 65 ans.

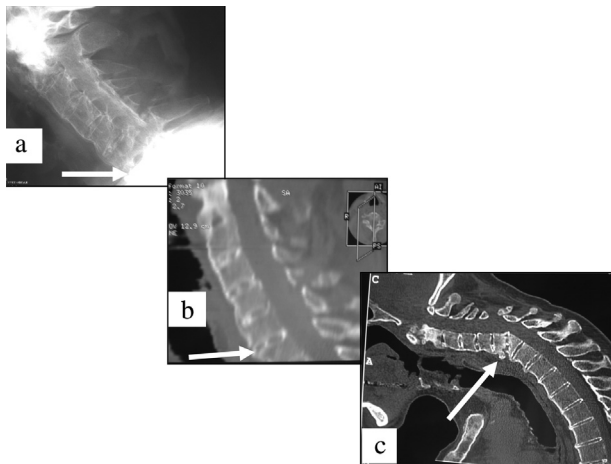


Fig. 2. Évolution naturelle d'une fracture C6/C7 non reconnue. a : cliché initial ; b : scan initial ; c : scan à 1 mois.

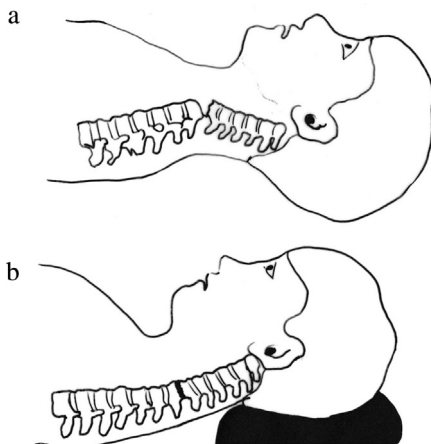


Fig. 3. Risque d'aggravation de déplacement et de troubles neurologiques en positionnant le patient à plat, donc, pour lui, en extension (a), un coussin sous la tête permet la réduction (b).

2.1. Particularités concernant les traumatismes cervicaux

La colonne cervicale basse et la charnière cervico-thoracique sont les plus touchées avec des lésions plus souvent trans-discales que corporéales. La tomodensitométrie voire même l'I.R.M. sont indispensables pour explorer ces régions. Le traitement conservateur, orthopédique, est réalisé au moyen d'une immobilisation par halo-jaquette, difficile à installer et porter par ces patients très déformés. Dans une ancienne publication, Weinstein [5] défendait déjà cette technique. Des publications plus récentes de Kouyoumdjian [10] notent de nombreux échecs et prônent le traitement chirurgical dès l'apparition de troubles neurologiques. Il s'agit d'appliquer les principes de l'ostéosynthèse d'une fracture d'os long pour stabiliser de grands bras de levier. Il faut donc réaliser une instrumentation longue avec prise de plusieurs vertèbres au-dessus et en-dessous du foyer de fracture, ceci à fin d'obtenir une meilleure stabilité primaire. Au niveau cervical ou cervico-thoracique il y a discussion entre deux types d'ostéosyntheses avec prise de 2 vertèbres au-dessus et en-dessous du foyer de fracture : par voie postérieure pure (Taggal [11]) ou par voie antérieure avec cervicotomie étendue et parfois ablation du manubrium sternal, sans sternotomie complète. Kouyoumdjian [10] pratique cette dernière technique pour 14 patients sur 16 et utilise des vis corporeales bicorticales. L'insertion d'un greffon triangulaire à base antérieure au niveau de la fracture permet parfois de corriger la cyphose :

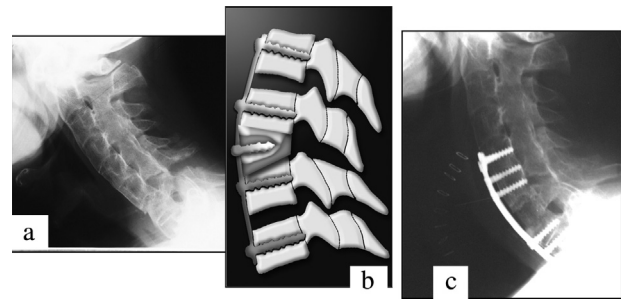


Fig. 4. Traitement par voie antérieure d'une fracture cervicale basse avec utilisation d'un greffon pour corriger la cyphose. a : cliché pré-opératoire ; b : greffe antérieure en coin ; c : cliché post-opératoire.

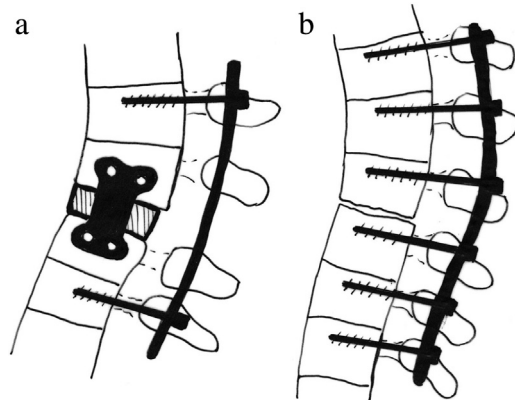


Fig. 5. Fracture thoraco-lombaire traitée par double voie avec montage court (a) ou voie postérieure avec montage long (b).

Kouyoumdjian [10] relève un gain de 26° de lordose (Fig. 4). Enfin, certains auteurs estiment que la meilleure solution est une chirurgie antérieure et postérieure (Olerud [12]). Ces montages solides permettent d'éviter le port de halo-jaquette en post-opératoire et de protéger la zone opérée par minerve ou simple collier.

2.2. Particularités concernant les traumatismes thoraco-lombaires

Le traumatisme fréquent en extension peut être réduit en flexion comme le décrit Lu [13] pour qui le traitement orthopédique conduit à un taux de pseudarthrose de 72 %. La chirurgie est légitime avec réalisation d'un montage soit plutôt court postérieur et antérieur (arthrodèse circonferentielle), soit uniquement postérieur, mais avec fixation étendue selon les principes déjà annoncés pour les fractures cervicales (Fig. 5). Cette ostéosynthèse longue et moins invasive peut être réalisée par voie percutanée (Charles [14]), la greffe osseuse applicable uniquement par voie d'abord classique n'étant pas indispensable, ou à l'aide d'un robot (Suliman [15]).

Enfin, selon Whang [16], une comparaison des fractures rachidiennes récentes liées à spondylarthrite et à la maladie hyperostotante de Forestier révèle que les troubles neurologiques sont plus graves sur les premières, sans constater de différence dans les traitements appliqués et les complications observées.

3. Les pseudarthroses

Souvent consécutives à un diagnostic retardé ou à un défaut du traitement orthopédique, elles se traduisent souvent par des images de remaniements autour du disque fracturé faisant penser à un processus infectieux. Certains parlent de spondylodiscite aseptique : c'est la lésion d'Andersson, bien revisitée par Park [17].



Fig. 6. Pseudarthrose thoraco-lombaire traitée par ostéotomie et ostéosynthèse postérieure. a : radio de profil ; b : tracé de l'ostéotomie ; c : scan préopératoire ; d : radio post-opératoire.

Même si, parfois, des germes « lents » ou peu virulents sont observés sur des prélèvements systématiques, il s'agit d'une lésion de non-consolidation plutôt inflammatoire qu'infectieuse. Nous estimons, comme l'a confirmé Moussellard [18], que le traitement doit être chirurgical en double temps avec fixation longue postérieure puis greffe complémentaire par voie antérieure. Récemment, Chang [19] a proposé une chirurgie par voie postérieure pure qui nous paraît discutable, et Qian [20], une ostéotomie de soustraction dans la pseudarthrose, plus logique (Fig. 6).

4. Chirurgie des déséquilibres antérieurs

Une meilleure connaissance des lésions anatomopathologiques de la spondylarthrite (Vital [21]) permet de comprendre que la chirurgie des déséquilibres antérieurs regroupe la chirurgie des hanches et l'ensemble des ostéotomies rachidiennes de correction.

4.1. Lésions anatomopathologiques de l'équilibre sagittal

4.1.1. Ostéoarticulaires

Elles sont liées à l'ostéoporose due à une inflammation articulaire et à une restriction de mobilité entraînant des tassements vertébraux cyphosants (Ralston [22]) et surtout liées à l'ankylose qu'on peut apprécier de bas en haut. Au niveau des articulations coxo-fémorales, des pertes de mobilité et du secteur d'extension sont observées. Les sacro-iliaques sont enraidies, mais on connaît

leur faible mobilité. À l'étage lombaire, on observe une perte de la lordose et à l'étage thoracique, une hypercyphose pouvant se prolonger jusqu'en région cervicale. Tout conduit à un déport sévère du patient vers l'avant. Pour se rééquilibrer et amener le centre de la tête (C.A.E) à l'aplomb des T.F., le patient doit rétroverser au maximum son bassin et donc verticaliser son sacrum ; les hanches se positionnent en hyperextension si la coxite l'autorise. Quand la rétroversion du bassin et l'extension de la hanche sont maximales, le patient doit fléchir ses genoux pour ne pas basculer en avant. Dans les formes les plus graves, la colonne cervico-thoracique est atteinte : le menton touche presque la poitrine (« chin on chest » des anglo-saxons), le regard à l'horizontale est impossible. Une inclinaison-rotation unilatérale peut déséquilibrer un peu plus cette région cervicale et doit faire suspecter des lésions sous occipitales ou cervicales hautes.

4.1.2. Musculaires

Simmons [23] décrit les lésions visibles sur des prélèvements de muscles extenseurs, réalisés dans le cas de troubles majeurs de l'équilibre sagittal : atrophie des fibres 1 et 2, et lésions de type « core targetoid » observées dans certaines myopathies. Il s'agit de savoir si ce phénomène est la cause du déséquilibre ou plutôt secondaire au manque d'activité physique, comme on l'observe au niveau du multifidus du lombalgie chronique.

4.2. Les traitements chirurgicaux

4.2.1. La prothèse totale de hanche

La prothèse totale de hanche est le premier traitement du déséquilibre antérieur : la récupération du secteur d'extension de la hanche participe à sa correction partielle. Nous pensons que ce geste chirurgical doit être discuté en premier, du fait de sa faible complexité. Zheng [24], préfère néanmoins pratiquer une ostéotomie lombaire en cas d'association cyphose rachidienne/coxite.

4.2.2. Les ostéotomies rachidiennes

Les ostéotomies rachidiennes créent une solution de continuité au niveau d'une colonne vertébrale totalement enraidie pour la repositionner et la maintenir vers l'arrière. Elles sont pratiquées aux niveaux lombaire, cervical bas, plus rarement thoracique ou pelvien.

4.2.2.1. Les ostéotomies lombaires. Smith Petersen [25] a été le premier à décrire une ostéotomie de soustraction de l'arc postérieur : un redressement vers l'arrière et donc une clisie de la colonne antérieure assure une meilleure lordose lombaire Fig. 7 et 8. Cette technique présente 2 risques : neurologique avec possibilité de compression des nerfs au niveau des foramens intervertébraux et vasculaire, par lésion des gros vaisseaux en regard de la clisie antérieure, responsables de son abandon.

L'ostéotomie corporéale de soustraction (ou trans-pédiculaire) [26,27] consiste à enlever tout l'arc postérieur de la vertèbre choisie et un coin vertébral après avoir contourné le cul de sac dural et son contenu. Le sommet du coin vertébral se situe au niveau du mur vertébral antérieur et sa base, en regard des pédicules qui sont enlevés. L'angle maximum de correction est de 3–40°. Des modifications techniques visent à augmenter cet angle de correction. La relative instabilité créée par l'ostéotomie, notamment au niveau de la colonne antérieure, nécessite une arthrodèse antérieure avec cages remplies d'os au niveau des disques encadrant la vertèbre ostéotomisée. La fermeture de l'ostéotomie est faite grâce à l'instrumentation postérieure et/ou au redressement de la table opératoire [28]. Des logiciels spécifiques (Aurouer [29]), permettent une planification préopératoire pour se rapprocher d'un équilibre sagittal idéal pour le patient, mais difficile à atteindre

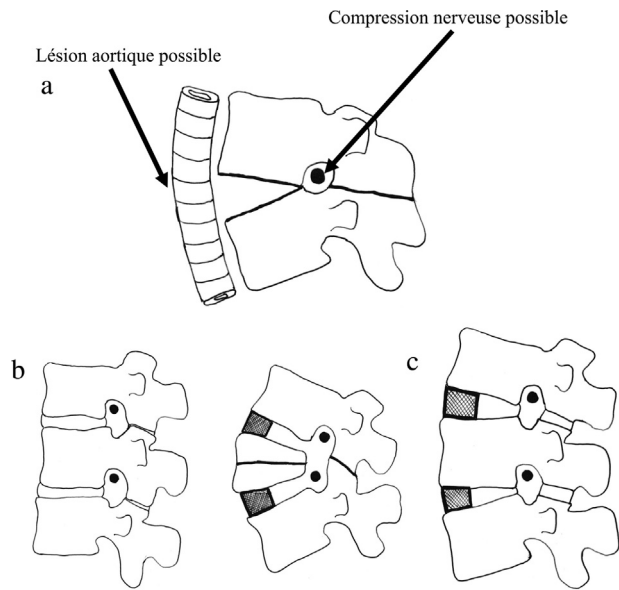


Fig. 7. Différents types d'ostéotomies rachidiennes. a : de Smith Petersen ; b : de soustraction corporelle transpédiculaire avec cages de part et d'autre de l'ostéotomie ; c : multiples étagées qui pour être efficaces nécessitent une colonne antérieure mobile.

au vue de sa déformation. Van Royen [30] a montré que plus l'ostéotomie est basse plus le redressement vers l'arrière est important. En pratique, l'ostéotomie se fait en L4 ou L3. La lordose lombaire est améliorée, la rétroversion du bassin persiste, le flessum des genoux diminue et le regard est plus horizontal. Chen [31] présente une série de 92 cas d'ostéotomies corporelles dans la spondylarthrite. Selon lui, il vaut mieux commencer par les prothèses de hanches et, dans les cas très sévères, les ostéotomies peuvent être réalisées sur plusieurs niveaux non adjacents. La mortalité est de 4 à 8 %, parfois consécutive à une hémorragie

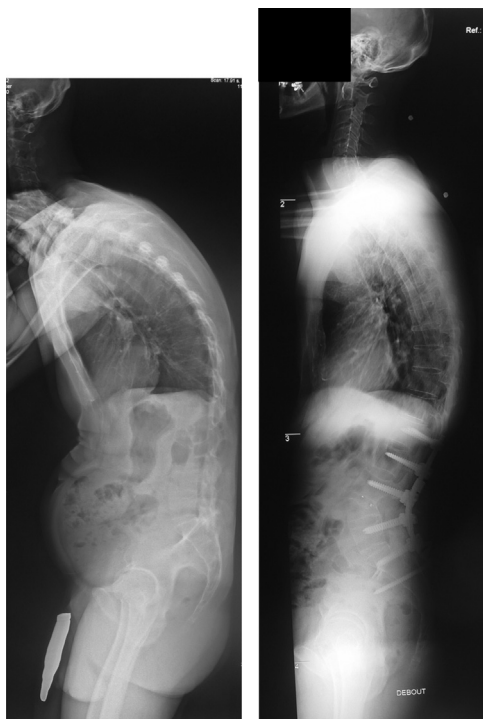


Fig. 8. Radiographies pré- et post-opératoires d'une ostéotomie corporelle transpédiculaire de L4.

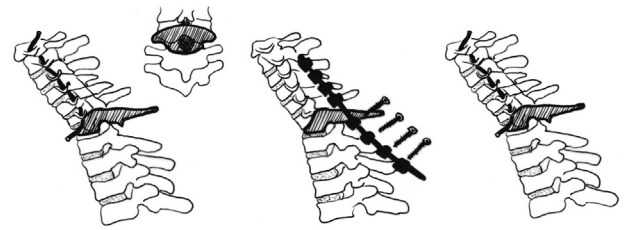


Fig. 9. Schémas d'une ostéotomie de soustraction de C7, qui se réalise au dessous de l'artère vertébrale.

peropératoire, le plus souvent d'origine épidurale, mal compensée. Des troubles neurologiques radiculaires et transitoires, par compression des racines dans les forams intervertébraux, sont observés. Bien entendu, la surveillance électrique peropératoire est obligatoire. Néanmoins, l'amélioration fonctionnelle est incontestable chez le patient : la marche est améliorée et le regard plus à l'horizontale.

Des ostéotomies étagées des arcs postérieurs ont été proposées [32]. Van Royen [33] a observé, dans cette technique, une insuffisance de correction liée à la rigidité de la colonne antérieure et des pseudarthroses secondaires. Arun [34] compare les ostéotomies corporelles de soustraction, multiples et de Smith Petersen : les premières offrent une meilleure correction mais sont plus hémorragiques.

4.2.2.2. Les ostéotomies thoraciques. Les ostéotomies thoraciques sont exceptionnelles : le risque neurologique est plus important du fait de leur proximité avec la moelle épinière et ne sont proposées que si la cyphose est très dominante dans cette région.

4.2.2.3. Les ostéotomies cervicales. Les ostéotomies cervicales (Fig. 9 et 10) sont pratiquées en cas de cyphose cervico-thoracique très marquée ou après une ostéotomie lombaire insuffisante, pour assurer un regard à l'horizontale. Simmons [35] l'a réalisée initialement sous anesthésie locale, en position assise maintenue par étrier ou halo. Actuellement, elle est réalisée en position allongée, la tête



Fig. 10. Radiographies pré- (a) et post-opératoires d'une patiente ayant subi une ostéotomie de L4 (b) puis de C7 (c).

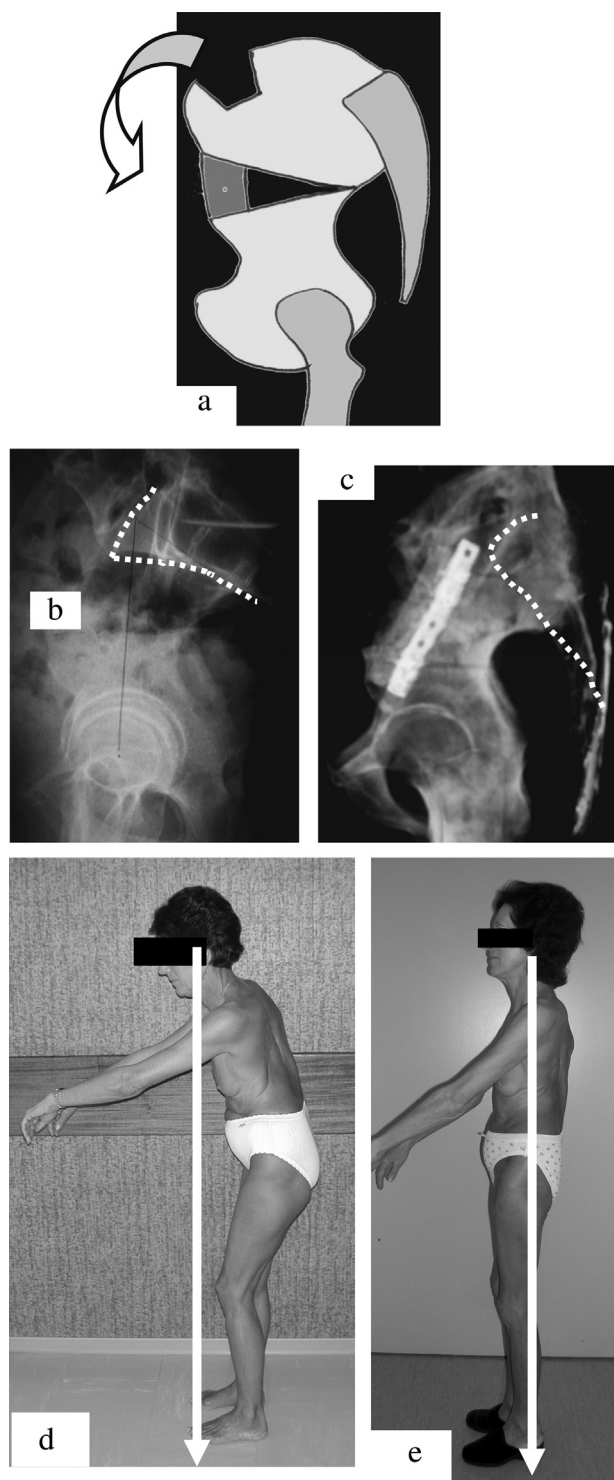


Fig. 11. Ostéotomie pelvienne. a : principe, avec greffon antérieur qui augmente le secteur de rétroversion du bassin ; b : contrôle radio pré-opératoire ; c : contrôle scanner post-opératoire ; d : contrôle clinique pré-opératoire ; e : contrôle clinique post-opératoire.

maintenue par un étrier et redressée, une fois l'ostéotomie réalisée avec stabilisation par une ostéosynthèse postérieure longue [36,37].

Toutes ces ostéotomies rachidiennes comportent des difficultés : d'installation, d'ordre respiratoire, dure-mère fragile, saignement important plus épidural qu'osseux, d'ostéosynthèse du fait de l'ostéopénie.



Fig. 12. Subluxation C1C2.

4.2.3. Les ostéotomies pelviennes ont été proposées par Wilson [38] et Gérard [39]

Une addition osseuse sur ostéotomie sus-cotyloïdienne est réalisée afin de repousser le tronc vers l'arrière tout en verticalisant le sacrum (augmentation de la rétroversion) (Fig. 11). Cette technique décrite dans les années 1970 n'a pas connu le succès des ostéotomies lombaires et doit rester de dernier recours.

5. Les lésions rachidiennes chirurgicales plus rares

5.1. Les atteintes du rachis sous occipital et cervical

Les atteintes du rachis sous occipital et cervical haut avec subluxation rotatoire C1C2 sont retrouvées chez 3 patients sur 33 dans la série de Fox [40] (Fig. 12) et l'impression basilaire est décrite 1 fois dans la série de Weinstein [5].

5.2. Les rétrécissements du canal rachidien cervical

Les rétrécissements du canal rachidien cervical (3 cas sur 33 dans la série de Fox [40]), ou du rachis lombaire (1 cas sur 33 dans la même série [40]) nous paraissent surprenants puisqu'en principe la sténose acquise arthrosique est due aux mouvements et donc à l'usure touchant le segment mobile de Junghanns, strictement rigide dans la spondylarthrite.

5.3. Les ectasies duremériennes

Les ectasies duremériennes peuvent s'observer et compliquent les gestes, notamment d'ostéotomies.

En conclusion, la fréquence des lésions rachidiennes chirurgicales dans la spondylarthrite diminue. Elles sont dominées par les fractures, au diagnostic souvent retardé, touchant la charnière cervico-thoracique et traitées classiquement par ostéosynthèse étendue pour éviter la pseudarthrose. Dans le cadre de déséquilibre antérieur fixé et important, on propose, dans l'ordre : une chirurgie de prothèse de hanche si nécessaire, une ostéotomie lombaire de soustraction, exceptionnellement une ostéotomie cervicale, toutes étant des chirurgies rachidiennes complexes, à réaliser en centre spécialisé.

Déclaration d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de conflits d'intérêts en relation avec cet article.

Références

- [1] Boersma JW. Retardation of ossification of the lumbar vertebral column in ankylosing spondylitis by means of phenylbutazone. *Scand J Rheumatol* 1976;5:60–4.
- [2] Braun J, De Keyser F, Brandt J, et al. New treatment options in spondyloarthropathies: increasing evidence for significant efficacy of anti-tumor necrosis factor therapy. *Curr Opin Rheumatol* 2000;13:245–9.
- [3] Kim GD, Chae SU, Kim YJ, et al. Osteoporotic lumbar compression fracture in patient with ankylosing spondylitis treated with kyphoplasty. *J Bone Metab* 2013;20:47–50.
- [4] Debarge R, Demey G, Roussouly P. Radiological analysing of ankylosing spondylitis patients with severe kyphosis before and after pedicle subtraction osteotomy. *Eur Spine J* 2010;19:65–70.
- [5] Weinstein PR, Karpman RR, Gall EP, et al. Spinal cord injury, spinal fracture, and spinal stenosis in ankylosing spondylitis. *J Neurosurg* 1982;57:609–16.
- [6] Rowed DW. Management of cervical spinal cord injury in ankylosing spondylitis. *J Neurosurg* 1992;77:241–6.
- [7] Westerveld LA, Verlaan JJ, Oner FC. Spinal fractures in patients with ankylosing spinal disorders: a systematic review of the literature on treatment, neurological status and complications. *Eur Spine J* 2009;18:145–56.
- [8] Thumbikat P, Hariharan RP, Ravichandran G, et al. Spinal cord injury in patients with ankylosing spondylitis. *Spine* 2007;32:2989–95.
- [9] Jacobs WB, Felhings MG. Ankylosis spondylitis and spinal cord injury: origin, incidence, management, and avoidance. *Neurosurg Focus* 2008;24:1–6.
- [10] Kouyoumdjian P, Guérin P, Schederle C, et al. Fracture of the lower cervical spine in patients with ankylosing spondylitis: retrospective study of 19 cases. *Rev Chir Orthop Traumat* 2012;98:472–80.
- [11] Taggard DA, Traynelis VC. Management of cervical spinal fractures in ankylosing spondylitis with posterior fixation. *Spine* 2000;25:2035–9.
- [12] Olerud C, Frost A, Bring J. Spinal fractures in patients with ankylosing spondylitis. *Eur Spine J* 1996;5:51–5.
- [13] Lu ML, Tsai TT, Lai PL, et al. A retrospective study of treating thoracolumbar spine fractures in ankylosing spondylitis. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2014;24:117–23.
- [14] Charles YP, Buy X, Gangi A, et al. Fracture in ankylosing spondylitis after minor trauma: radiological pitfalls and treatment by percutaneous instrumentation. A case report. *Orthop Traumat Surg Res* 2013;99:115–9.
- [15] Suliman A, Wollstein R, Bernfeld B, et al. Robotic-assisted device in posterior spinal fusion for a high risk thoracolumbar fracture in ankylosing spondylitis. *Asian Spine J* 2014;8:64–8.
- [16] Whang PG, Goldberg G, Lawrence JP, et al. The management of spinal injuries in patients with ankylosing spondylitis or diffuse idiopathic skeletal hyperostosis; a comparison of treatment methods and clinical outcomes. *J Spinal Disord Tech* 2009;22:77–95.
- [17] Park YS, Kim JH, Ryu JA, et al. The Andersson lesion in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 2011;93B:961–6.
- [18] Moussellard P, Pointillart V, Mangione P, et al. Spontaneous vertebral pseudarthrosis in ankylosing spondylitis; about 3 cases. *Rev Chir Orthop* 1996;82:453–7.
- [19] Chang KW, Tu MY, Huang HH, et al. Posterior correction and fixation without anterior fusion for pseudarthrosis with kyphotic deformity in ankylosing spondylitis. *Spine* 2006;31:E408–13.
- [20] Qian BP, Qui Y, Wang B, et al. Pedicle subtraction osteotomy through pseudarthrosis to correct thoracolumbar kyphotic deformity in advanced spondylitis. *Eur Spine J* 2012;21:711–8.
- [21] Vital JM, Schaevebeke T, Gille O. Spondylarthropathies et équilibre sagittal. *Rev Rhumatol* 2004;71:297–300.
- [22] Ralston SH, Urquhart GD, Brzeski M, et al. Prevalence of vertebral compression fractures due to osteoporosis in ankylosing spondylitis. *BMJ* 1990;300:563–5.
- [23] Simmons EH, Graziano GP, Heffner R. Muscle disease as a cause of kyphotic deformity in ankylosing spondylitis. *Spine* 1991;16S:351–9.
- [24] Zheng GQ, Zhang YG, Chen JY, et al. Decision making regarding spinal osteotomy and total hip replacement for ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 2014;96B:360–5.
- [25] Smith Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg* 1945;27A:1–11.
- [26] Mac Master MJ. A technique for lumbar spinal osteotomy in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 1985;67B:204–10.
- [27] Thomasen F. Vertebral osteotomy for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis. *Clin Orthop Rel Res* 1985;194:142–52.
- [28] Thiranont N, Netrawichien P. Transpedicular decancellation closed wedge vertebral osteotomy for treatment of fixed flexion deformity of spine in ankylosing spondylitis. *Spine* 1993;18:2517–22.
- [29] Aurouer N, Obeid I, Gille O, et al. Computerized preoperative planning for correction of sagittal deformity of the spine. *Surg Radiol Anat* 2009;31:781–92.
- [30] Van Royen BJ, Slot GH. Closing-wedge posterior osteotomy for ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 1995;77B:117–21.
- [31] Chen IH, Chien JT, Yu TC. Transpedicular wedge osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis in ankylosing spondylitis. *Spine* 2001;26:E354–60.
- [32] Hehne MJ, Zielke K, Bohm H. Polysegmental lumbar osteotomies and transpedicled fixation for correction of long-curved kyphotic deformities in ankylosing spondylitis. Report on 177 cases. *Clin Orthop Rel Res* 1990;258:49–55.
- [33] Van Royen BJ, De Kleuver M, Slot GH. Polysegmental lumbar posterior wedge osteotomies for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis. *Eur Spine J* 1998;7:104–10.
- [34] Arun R, Dabke HV, Mehdian H. Comparison of 3 types of lumbar osteotomy for ankylosing spondylitis: a case series and evolution of a safe technique for instrumented reduction. *Eur Spine J* 2011;20:2252–60.
- [35] Simmons EH. The surgical correction of flexion deformity of the cervical spine in ankylosing spondylitis. *Clin Orthop* 1972;86:132–43.
- [36] Mac Master MJ. Osteotomy of the cervical spine in ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 1997;79B:197–205.
- [37] Mehdian SMH, Arun R. A safe controlled instrumented reduction technique for cervical osteotomy in ankylosing spondylitis. *Spine* 2011;36:715–20.
- [38] Wilson PD, Levine DB. Compensatory pelvic osteotomy for ankylosing spondylitis. *J Bone Joint Surg* 1969;51A:142–8.
- [39] Gérard Y, Ségal P, Jacob M. L'ostéotomie pelvienne préférée à l'ostéotomie rachidienne pour le traitement des grandes cyphoses de la spondylarthrite ankylosante. *Rev Rhum* 1971;38:221–5.
- [40] Fox MW, Onofrio BM, Kilgore JE. Neurological complications of ankylosing spondylitis. *J Neurosurg* 1993;78:871–8.