



HAL
open science

Instabilité posturale au stade précoce de la scoliose idiopathique de l'adolescente

Thierry Haumont

► **To cite this version:**

Thierry Haumont. Instabilité posturale au stade précoce de la scoliose idiopathique de l'adolescente. Médecine humaine et pathologie. Université Henri Poincaré - Nancy 1, 2010. Français. NNT : 2010NAN10137 . tel-01746158

HAL Id: tel-01746158

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-01746158v1>

Submitted on 29 Mar 2018

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.



AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr

LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>

UNIVERSITE HENRI POINCARÉ, NANCY 1
Ecole Doctorale « Biologie – Santé – Environnement »

THESE

présentée et soutenue publiquement par

Thierry HAUMONT

en vue de l'obtention du

DOCTORAT D'UNIVERSITE

Sciences de la Vie et de la Santé

**INSTABILITE POSTURALE AU STADE PRECOCE DE LA
SCOLIOSE IDIOPATHIQUE DE L'ADOLESCENTE**

JURY :

Rapporteurs :

- M. Pierre DENISE, Professeur, Université de Caen Basse-Normandie
- M. Herman KINGMA, Professeur, Université de Maastricht, Pays-Bas

Directeur de Thèse :

- M. Philippe PERRIN, Professeur, Université Henri Poincaré, Nancy 1

Membres :

- M. Jean-Louis GUEANT, Professeur, Université Henri Poincaré, Nancy 1
- M. Pierre LASCOMBES, Professeur, Université Henri Poincaré, Nancy 1
- M. Jean-Michel ROGEZ, Professeur, Université de Nantes

25 novembre 2010

Résumé

La scoliose idiopathique de l'adolescent est une pathologie fréquente responsable d'une déformation tridimensionnelle du rachis. Des troubles infra-cliniques du contrôle postural sont décrits impliquant le vestibule, la proprioception et la vision, mais la littérature fait état de ces troubles pour des scolioses évoluées. Ainsi, notre étude a eu pour but de mesurer s'il existait des différences de contrôle postural en relation avec l'importance de la déformation pour des scolioses peu évoluées, au moment du diagnostic.

Une population de 65 adolescentes présentant une scoliose idiopathique ($11,4 \pm 2,3$ ans) a été soumise, au moment du diagnostic, à un examen clinique et radiographique (angle de Cobb), ainsi qu'à des tests posturographiques statiques et dynamiques, avec et sans conflits sensoriels.

Deux groupes ont été constitués en fonction de l'importance de la déformation scoliotique. L'angle de Cobb était de $14,8 \pm 5,1^\circ$. Trente cinq patientes présentaient un angle de Cobb entre 5 et 14° (groupe I) et 30 patientes présentaient un angle entre 15 et 25° (groupe II). Ce groupe des scolioses les plus importantes présentait des oscillations posturales plus amples, caractérisées lors des tests statiques par des oscillations du centre de pression des pieds dans une plus grande surface, à la fois en condition yeux ouverts et yeux fermés. Ce groupe présentait également des oscillations latérales plus importantes, mais uniquement en condition yeux fermés. Dans les conditions de conflits sensoriels, les patients du groupe II ont montré un contrôle postural significativement moins performant, particulièrement dans les conditions de conflits visuels et somesthésiques. De plus, lors des tests dynamiques, les stratégies d'anticipation étaient moins bien utilisées dans le groupe II que le groupe I pour stabiliser leur posture lors des mouvements d'oscillation lente imposés par la plate-forme.

Les performances moindres du contrôle postural chez les patientes présentant un angle de Cobb $\geq 15^\circ$, en particulier dans les conditions de conflits sensoriels, reflètent une difficulté d'intégration centrale des informations.

Mots clefs

Scoliose idiopathique ; Contrôle postural ; Angle de Cobb ; Dépistage précoce ; Posturographie.

Postural Instability in Early-Stage Idiopathic Scoliosis in Adolescent Girls

Abstract

Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is related to disorders of postural control with potential involvement of vestibular, proprioceptive and visual inputs. So far no assessment of postural control has been done in an AIS population at the onset of spine deformation. The aim of this study was to evaluate whether the amplitude of spine deformation in AIS is an important factor for postural control at disease onset.

This cross-sectional study included 65 female patients with AIS (mean age: 11.4 ± 2.3 years), which were clinically and radiologically (Cobb angle) assessed at the time of diagnosis and evaluated in posturography, including static tests – with and without sensory conflict – and dynamic tests. Two groups were formed according to the mean Cobb angle of the primary curve.

The mean Cobb angle was $14.8 \pm 5.1^\circ$; 35 patients were included in group I with a Cobb angle of 5 to 14° , and 30 patients into group II with a Cobb angle of 15 to 25° . The latter group displayed higher body sways in static tests, characterized by a larger area covered by center of foot pressure in both eyes open and eyes closed conditions, and by higher lateral oscillations in only the eyes closed condition. Group II patients displayed poorer balance control, mainly in visual and somatosensory conflict conditions. Group II patients used fewer anticipatory strategies to stabilize body oscillations than Group I patients, especially in the more challenging sensory conflict and dynamic situations.

In conclusion, poorer postural performance, especially in sensory conflict situations observed in patients with a Cobb angle greater or equal to 15° reflects less effective central information processing.

Key words

Idiopathic scoliosis; Postural control; Cobb angle; Early screening; Posturography.

Remerciements

Au **Professeur Pierre LASCOMBES** : Cher Maître, votre aptitude à initier des recherches cliniques pertinentes et vos qualités de leader développées sur le socle de vos grandes qualités humaines sont autant de chemins qu'il faut suivre pour arriver à l'excellence. Que l'accomplissement de ce travail soit une expression de toute ma reconnaissance et de mon amitié.

Au **Professeur Philippe PERRIN** : La constance que vous portez à la conduite des recherches menées dans votre équipe ainsi que votre rigueur, en particulier dans la rédaction des manuscrits, sont des exemples qu'il est si important de suivre. Ce travail de thèse est une pierre apportée à l'édifice de votre travail rigoureux et acharné mais je suis sûr aussi, la première pierre à une collaboration féconde et fédératrice décuplant les forces. Que ce travail soit l'expression de tout mon respect et de ma sincère reconnaissance.

Au **Professeur Jean-Michel ROGEZ** : Monsieur le Doyen et cher Maître, c'est un très grand plaisir de pouvoir vous compter parmi les membres de ce jury. Il est des épreuves difficiles dans une vie mais aussi des moments forts où l'on peut compter ses amis autour de soi et vous y étiez. Je suis très heureux que ce travail puisse être jugé au travers de votre très solide expérience d'orthopédiste pédiatre, connaissant parfaitement la scoliose et ses enjeux. Je vous remercie du très grand honneur que vous me faites en jugeant ce travail et vous prie de croire en mon profond respect et toute mon amitié. Je vois en votre relève anatomique et chirurgicale bien préparée, des convictions, une excellence et une amitié tout aussi magnifiques.

Au **Professeur Jean-Louis GUEANT** : Nous vous remercions tout particulièrement en tant que Directeur d'une unité de recherche Inserm reconnue, membre du Conseil Scientifique de notre Université et Vice Doyen Recherche de notre Faculté, de l'honneur que vous nous faites de siéger dans ce jury. Nous sommes très heureux que notre travail chemine sous votre œil pertinent de chercheur et nous vous adressons tous nos remerciements.

Au **Professeur Pierre DENISE** : Cette thèse s'intéresse à la scoliose et à la posture, et je vous remercie d'avoir accepté de juger ce travail de recherche, au travers de votre vision binoculaire de médecin rééducateur et de posturologue, coiffée d'une responsabilité de Président de Conseil Scientifique. J'espère à l'avenir pouvoir partager avec vous des projets de recherche et profiter de l'amitié personnelle et professionnelle qui vous lie avec le Professeur Philippe Perrin.

Au **Professeur Herman KINGMA** : C'est un honneur de voir mon travail jugé par un posturologue de votre renommée. J'ai pu, par le passé, apprécier vos conférences si pertinentes et si didactiques et espère en suivre bien d'autres. La science n'a pas de frontières même si vous avez accepté de traverser les nôtres. Veuillez accepter mes plus vifs remerciements.

Au **Docteur Gérome GAUCHARD** : Votre rapidité dans la manipulation des nombreuses données, votre acuité à interpréter les données collectées et votre esprit critique scientifique sont des pierres importantes apportées à cette thèse. Ce travail vous doit beaucoup et je vous adresse ma plus sincère reconnaissance et toute mon amitié.

A la **Fondation Yves COTREL (Institut de France – Académie des Sciences – Paris)**: Nous adressons tous nos remerciements à cette magnifique Fondation et à son fondateur en particulier, non seulement pour l'aide qu'elle a pu apporter à ce travail, mais aussi à la formidable coopération scientifique internationale qu'elle a su forger dans ce creuset expert et passionné.

A **Marie** : Ton dynamisme, ta soif de connaissances et d'explorations sont autant de qualités que j'apprécie. J'admire ton intelligence, ta constance me rassure, tes analyses m'enrichissent. Ton amour est un précieux joyau...

A **Océane, Morgane et Jade** mes filles adorées...

A **mes parents, ma famille** et tous **mes amis**.

Merci à **Cédric MEYER, Guillaume HERPIN** et **Alexis LION** pour l'aide apportée à ce travail en réalisant l'acquisition des tests posturographiques.

SOMMAIRE

Introduction	9
Scoliose idiopathique de l'adolescent	15
<i>Définition et généralités</i>	15
<i>Diagnostic positif</i>	22
<i>Diagnostic topographique - Radiographie</i>	28
<i>Diagnostic évolutif - Pronostic</i>	33
<i>Diagnostic différentiel</i>	36
<i>Etiopathogénie de la scoliose idiopathique</i>	38
Génétique	39
Métabolisme	40
Biomécanique	42
Neuro-sensoriel	43
Sujets et Méthode	47
<i>Participants</i>	47
<i>Déroulement de l'étude et paramètres radio-cliniques</i>	47
<i>Tests posturographiques</i>	49
<i>Agréments</i>	49
<i>Tests statiques</i>	49
<i>Tests dynamiques avec oscillations sinusoïdales lentes du support</i>	53
<i>Tests d'organisation sensorielle (TOS)</i>	58
<i>Reproductibilité des tests</i>	65
<i>Analyse statistique</i>	66
Résultats	67
Discussion	70
Conclusion.....	73
Bibliographie	75
Annexes	83
<i>Annexe 1 : Manuscrit accepté pour publication dans la revue Spine</i>	84
<i>Annexe 2 : Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2006)</i>	106
Article original :	106
Synthèse:	112

<i>Annexe 3 : Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2007)</i>	116
<i>Article original :</i>	116
Synthèse :	121
<i>Annexe 4 : Communications à des congrès scientifiques</i>	125
<i>Annexe 5 : Prix</i>	129
<i>Annexe 6 : Participation à des ouvrages scientifiques</i>	130
<i>Annexe 7 : Table des illustrations</i>	131

Introduction

La scoliose est une déformation tridimensionnelle irréductible du rachis. Si le bossu d'autrefois est devenu le patient scoliotique d'aujourd'hui, c'est que les progrès médicaux issus de la Recherche ont été déterminants dans cette quête continue de l'amélioration de l'espérance et de la qualité de vie au travers de la lutte contre les pathologies.

Aujourd'hui, le traitement d'une scoliose, lorsqu'elle devient évolutive, requiert en premier lieu un traitement orthopédique (corset), qui permettra au mieux d'interrompre l'évolution de cette déformation, sans être capable au terme du traitement de la réduire. En effet, si une scoliose s'aggrave et comporte un angle de Cobb atteignant 30° par exemple, l'entreprise d'un traitement orthopédique va s'imposer au thérapeute. Il faudra expliquer à la famille la nécessité de ce traitement, ce qui sera relativement facile. Mais il faudra aussi convaincre l'adolescente de l'importance de la mise en place du corset et de la place que prendra l'observance du port du corset pour son avenir fonctionnel futur, ce qui sera le plus souvent une tâche très ardue, surtout en quelques minutes de consultation. Bien entendu, lors d'un précédent examen clinique et radiographique, on aura prévenue la famille et l'adolescent de cette éventualité pour permettre une réflexion prolongée, au calme, avant d'avoir à prendre la décision difficile. Mais lorsque la décision logique de traitement s'imposera, elle devra être validée, à défaut parfois d'être parfaitement acceptée durant les quelques minutes d'entretien de la consultation spécialisée. A cette période charnière de la vie, où l'aspect physique revêt dans tous les cas un aspect de premier plan pour l'adolescent, le corset va être perçu comme une carapace inacceptable.

Si ce traitement est important, il n'en demeure pas moins imparfait. En effet après un port du corset pendant une durée habituelle de un à trois ans, la déformation finale, en fin de croissance osseuse, sera au mieux stabilisée (avec un angle de Cobb de 30° si l'on conserve l'exemple pris au départ). Lorsque l'observance du traitement a été complète, pour un port habituel de vingt trois heures sur vingt quatre, l'angle (de Cobb) de pose équivaldra, dans ces cas les plus favorables, à l'angle de dépose. Si cet angle pris pour exemple peut permettre un résultat acceptable à long terme pour une scoliose thoracique, il semble toutefois largement imparfait pour une scoliose thoraco-lombaire et encore plus pour une scoliose lombaire.

Lorsque la déformation devient importante ou échappe au traitement orthopédique, elle compromet la fonction et la qualité de vie à moyen terme, et le traitement chirurgical s'impose alors. Cette chirurgie de la scoliose a connu en un demi-siècle des étapes de

progression déterminantes (Cotrel and Dubousset 1984, Harrington 1962, Luque 1982). Après les premiers traitements chirurgicaux d'arthrodèse intervertébrale sans instrumentation, imposant initialement une position couchée pendant des mois, Harrington par une instrumentation métallique en distraction permettait la verticalisation mais imposait le maintien du port d'un corset pendant une période habituelle d'un an. Ce traitement fixant le point le plus haut de la courbure à la partie proximale de la tige unique et par distraction le plaçant le plus loin possible du point le plus bas de la ou des courbures de la scoliose, permettait de réduire quelque peu la déformation et réduisait le risque d'aggravation de la déformation. Néanmoins cette tige unique a montré ses limites mécaniques, imposant des reprises chirurgicales. Le principe de distraction d'une courbure déjà sévère par une seule tige était insuffisant. En effet cette tige unique n'agissait qu'en distraction et l'on sait que ce principe est insuffisant lorsque la courbure augmente et que le bras de levier devient important. Le moment de force augmentant avec la déformation, la distraction par la tige ne réduit pas suffisamment le bras de levier pour une force appliquée ne pouvant être accrue au-delà de la résistance mécanique des pièces vertébrales. Ainsi, Luque en utilisant deux tiges et des implants vertébraux, non plus seulement amarrés aux extrémités de la courbure, mais à tous les étages vertébraux, a permis d'une part de mieux répartir la contrainte mécanique de correction et de réduire au mieux le bras de levier en rapprochant le sommet de la courbure de l'axe médian du buste par une contrainte mécanique directe plus efficace pour les courbures importantes. Enfin si ces techniques permettaient une correction biplanaire de la déformation elle ne permettait pas de corriger efficacement le troisième plan de la déformation, à savoir le plan transversal. Ceci a été permis par l'instrumentation de Cotrel et Dubousset qu'elle soit avec une prise sur l'arc postérieure de la vertèbre (voie d'abord postérieure) ou la prise sur le corps vertébral en avant (voie d'abord antérieure). Cette évolution des concepts accompagnée par les progrès techniques des matériaux, eux-mêmes freinés, non sans une certaine logique, par la réglementation, a mis presque trente ans pour se développer. Malgré ces progrès, la correction chirurgicale revêt toujours le manteau du risque chirurgical. Les risques infectieux chirurgicaux sont relativement importants du fait de la durée de ces interventions et l'implantation de matériaux inertes dans l'organisme. Si la complication neurologique est rare, on ne peut toutefois annihiler ce risque redoutable qu'est celui de la paraplégie. L'amélioration du profil et de l'encombrement des implants rachidiens et celle des surveillances neurologiques instrumentales per-opératoires ont progressé régulièrement mais le risque neurologique, lié à l'ischémie médullaire, ne peut être totalement supprimé. Hors la

survenue de cette complication définitive est toujours inacceptable pour une jeune fille, sa famille et le chirurgien.

Mais si en l'absence de complication, la chirurgie d'aujourd'hui permet de corriger partiellement et parfois même totalement la déformation, elle s'appuie sur une arthrodèse qui supprimera toute ou partie de la mobilité intervertébrale.

Par conséquent, si les traitements ont progressé, ils demeurent néanmoins imparfaits. Il conviendrait de traiter orthopédiquement toute scoliose débutante pour éviter la majoration de la déformation. Cependant, seuls dix pourcent des scolioses idiopathiques de l'adolescent sont évolutives et on ne peut concevoir de traiter par corset toutes les scolioses à cet âge difficile de l'adolescence. En l'absence d'étiologie connue, il n'existe donc pas de prévention primaire. Le problème de la détection très précoce de l'évolutivité demeure donc un problème capital et pourtant non résolu.

La scoliose dite idiopathique est la plus fréquente des scolioses et ne portera très probablement plus ce nom d'ici quelques années. En effet, les recherches récentes sur cette population ont permis de mettre en évidence des facteurs étiologiques communs multiples, tant sur le plan génétique, biomécanique, métabolique que sur le plan neurosensoriel. Dans ce dernier domaine, la mise en évidence de dysfonctionnements infra-cliniques du contrôle postural (Chen et al. 1998, Gauchard et al. 2001, O'Beirne et al. 1989, Simoneau et al. 2006b, Yamamoto 1982, Yamamoto et al. 1982), en particulier pour les adolescents présentant des courbures évolutives, offre des pistes de recherche très intéressantes pour détecter l'évolutivité de la scoliose idiopathique. Hors, si la plupart des études posturographiques de la littérature se sont focalisées sur des scolioses déjà évoluées et le plus souvent avant un traitement orthopédique ou chirurgical (Chen et al. 1998, Gauchard et al. 2001), aucune étude n'a étudié, à notre connaissance, le contrôle postural au moment du diagnostic, lorsque la déformation rachidienne est encore minime. De plus, la mise en évidence de troubles du contrôle postural n'a pas permis d'affirmer que les troubles étaient primitifs, liés à la cause intrinsèque neuro-sensorielle qui conduit au développement de la déformation rachidienne pendant la croissance. On pourrait d'ailleurs imaginer que ces perturbations puissent être liées seulement aux conséquences biomécaniques de la déformation du rachis. En d'autres termes, l'empilement désaxé des pièces vertébrales pourrait générer des troubles posturaux sans qu'aucun trouble neurologique primitif ne soit impliqué. Les troubles du contrôle postural n'ont donc pas été démontrés à ce jour pour de petites scolioses. Le développement des outils

de posturographie rend maintenant possible d'évaluer avec précision ces troubles infra-cliniques.

C'est en particulier à partir des travaux de l'équipe que nous avons entamé une démarche cohérente de la recherche ambitieuse d'un index posturographique prédictif de l'évolutivité de la scoliose idiopathique. Une étude prospective débutée en 2004 est en cours à ce sujet et l'étude ici présentée en est une étape préliminaire importante. Les troubles du contrôle postural dans la scoliose idiopathique sont discrets : les enfants pratiquent normalement des activités physiques et sportives et ne présentent aucun trouble cliniquement décelable. Le premier travail publié par notre équipe en 2006 (Meyer C. et al. 2006) (Annexe 2) souhaitait répondre à la question : « Pourquoi les patients présentant une scoliose idiopathique pratiquent-ils plus de gymnastique que les autres ? » En effet, des études avaient montré que l'incidence de la scoliose était plus importante dans des populations pratiquant des activités physiques et sportives (Becker 1986, Hellstrom et al. 1990). Notre étude épidémiologique transversale a montré que les adolescents scoliotiques pratiquaient autant d'activités physiques et sportives qu'un groupe contrôle, mais avec une intensité moindre et qu'ils étaient plus investis dans les activités gymniques. L'intensité moindre des activités ne pouvait pas expliquer le développement de la déformation rachidienne. De plus, les adolescents scoliotiques avaient choisi la pratique des activités gymniques avant même de voir établir le diagnostic de leur scoliose. Ce n'était donc pas ce diagnostic émis qui avait pu conduire les sujets à s'orienter vers cette pratique sportive. Ainsi parce que la scoliose idiopathique n'avait pas conduit les sujets vers la pratique des activités gymniques et que cette pratique n'était pas à l'origine de la scoliose, qu'un facteur commun pouvait expliquer ces résultats. La scoliose idiopathique et les activités gymniques concernant plus les filles, la laxité articulaire avait été suspectée comme étant ce facteur. L'étude, grâce à des tests de laxité articulaire pratiqués sur des sujets scoliotiques et des sujets témoins, a mis en évidence une laxité articulaire plus importante des adolescents scoliotiques, pratiquant ou non des activités gymniques, par rapport à celle des adolescents du groupe contrôle, pratiquant ou non les activités gymniques. En conclusion de ce travail, la laxité articulaire pouvait donc supposer être à l'origine de l'orientation des patients vers une activité sportive requérant une souplesse articulaire conséquente. Ensuite, après un autre travail de l'équipe (Gauchard et al. 2001) qui avait mis en évidence un meilleur contrôle postural dans les scolioses idiopathiques à double courbure par rapport aux courbures simples (thoraciques, thoracolombaires et lombaires), nous avons pu montrer que les scolioses à double courbure pratiquaient plus d'activités physiques et

sportives mais aussi plus d'activités gymniques en particulier que le groupe de scolioses à courbure principale unique (Meyer C. et al. 2007) (Annexe 3). L'hypothèse de facteurs biomécaniques de rééquilibration du fait de la deuxième courbure avait été proposée. Hors ces trois études de l'équipe, comme toutes celles de littérature, ne s'étaient jusqu'alors intéressées qu'aux scolioses déjà évoluées pour la plupart, requérant le plus souvent un traitement orthopédique voir même chirurgical. La première question soulevée était : « ces troubles du contrôle postural sont-ils le fait de conséquences biomécaniques de la déformation ou le fait d'anomalies neurosensorielles primitives responsables du développement de la déformation rachidienne pendant la croissance ? ». La deuxième question se posant à nous, à notre communauté médicale et à nos patients et leur famille était : « Existe-il un index posturographique qui permettrait de prédire l'évolutivité de la scoliose idiopathique de l'adolescent ? ». Pour répondre à la première question, une étude sur des scolioses de très faible amplitude de déformation, nous semblait être intéressante afin de mesurer si, pour une déformation minimale au moment du diagnostic initial, les troubles du contrôle postural étaient déjà présents et si l'importance de la déformation pouvait influencer sur la performance du contrôle postural. Si des troubles posturaux étaient détectables, nous validerions également la sensibilité des outils posturographiques pour ces déformations scoliotiques minimales. Pour répondre à la deuxième question, nous avons débuté en 2004 une étude prospective multicentrique incluant, au moment du diagnostic, des patients scoliotiques qui ensuite ont été suivis longitudinalement. Ce suivi a permis de connaître ultérieurement le statut évolutif (ou non) de la scoliose. La démarche a consisté ensuite à regarder si la première posturographie, effectuée au moment du diagnostic, objectivait déjà des différences significatives entre les deux groupes constitués après suivi longitudinal. En premier lieu, s'il existait une différence de contrôle postural entre ces deux groupes, nous pourrions être en mesure de prédire l'évolutivité de la scoliose idiopathique de l'adolescent, ce qui serait une avancée extraordinaire pour anticiper le traitement et réduire les risques à long terme de cette pathologie fréquente. En second lieu nous pourrions apprécier, le rôle respectif biomécanique de la déformation et de son mécanisme intrinsèque étiopathogénique. Pour répondre à cette question de recherche, il aura été nécessaire de vérifier dans la première étude que les deux groupes de scolioses minimales et modérées ne comportent pas de différence significative en terme d'évolutivité au cours du suivi longitudinal, ni de différence en terme de type de scoliose (doubles ou simples). Dans cette même optique, il sera nécessaire dans la seconde étude de vérifier que dans le groupe évolutif, les scolioses, au moment du diagnostic

(première posturographie) ne présentent pas de déformation déjà plus importante que les scolioses du groupe non évolutif.

Ainsi dans la continuité des recherches menées par l'équipe sur la scoliose idiopathique de l'adolescent, nous pourrions être en mesure de démontrer : la sensibilité de l'outil posturographique pour détecter des troubles très discrets du contrôle postural – le poids de l'importance de la déformation biomécanique sur le contrôle postural pour des scolioses minimales, au début de leur évolution au moment du diagnostic – qu'un index posturographique prédictif de l'évolutivité d'une scoliose idiopathique est envisageable – la différence entre des paramètres posturographiques témoins de la déformation biomécanique du rachis avec ceux témoins de l'évolutivité d'une scoliose idiopathique de l'adolescent.

L'hypothèse de l'étude présentée ici est que plus l'amplitude de la déformation rachidienne est grande et plus les troubles du contrôle postural se majorent. Le but de notre étude a donc été de démontrer qu'il existait, à un stade précoce de la scoliose idiopathique, une différence de contrôle postural entre deux cohortes d'adolescentes présentant une déformation rachidienne mineure ou modérée, et dans tous les cas inférieure à 25°, et de préciser les spécificités de cette différence.

Scoliose idiopathique de l'adolescent

Définition et généralités

La scoliose (du grec skolios : tortueux) est une déformation tridimensionnelle irréductible du rachis (*Figure 1*). Elle est définie comme « une déformation rachidienne consistant en un déplacement relatif et progressif d'un élément constitutif, la vertèbre, par rapport à son adjacent, se produisant dans les trois plans de l'espace (frontal, sagittal, coronal) sans perte de la continuité ostéo-ligamentaire et se développant sur tout ou partie de la colonne vertébrale, essentiellement pendant la période de croissance » (Dubousset 1986, Duval-Beaupère 1993).



Figure 1 : Déformation tridimensionnelle du rachis définissant une scoliose (photo d'une pièce anatomique disséquée)

Depuis l'antiquité, les déformations du rachis ont été à l'origine de railleries et de moqueries. Les gnomes, monstres et autres bossus faisaient partie de la vie quotidienne, et ont suscité grands nombres d'œuvres littéraires. Sur le plan scientifique, de nombreuses études ont été rapportées, souvent accompagnées de propositions thérapeutiques utilisant des appareillages et des machines de redressement parfois très sophistiquées. Dans son livre intitulé « *L'orthopédie ou l'art de corriger les difformités des enfants* », le lyonnais Nicolas Andry en 1741 définit d'une part une nouvelle spécialité : « l'orthopédie » dont l'étymologie signifie « l'enfant droit », et dessina d'autre part l'arbre torse redressé par un tuteur, emblème que toutes les sociétés savantes d'orthopédie du monde ont repris dans leur logos (*Figure 2*) (*Andry 1741*).

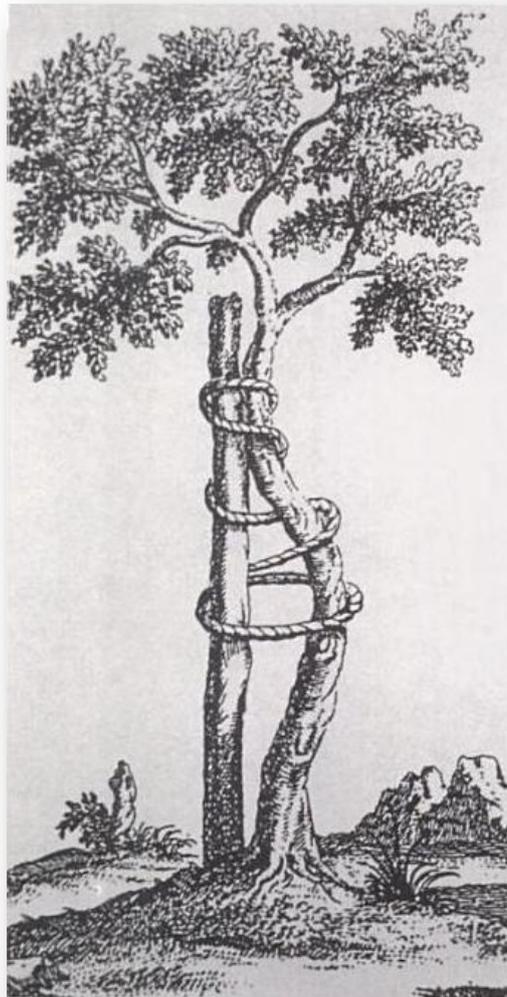


Figure 2 : L'arbre torse du lyonnais Nicolas Andry devenu symbole des sociétés savantes d'orthopédie (Andry 1741)

Delpech de Montpellier a dessiné de nombreuses observations et a décrit toutes sortes d'appareillages (*Figure 3*) (*Delpech 1828*)

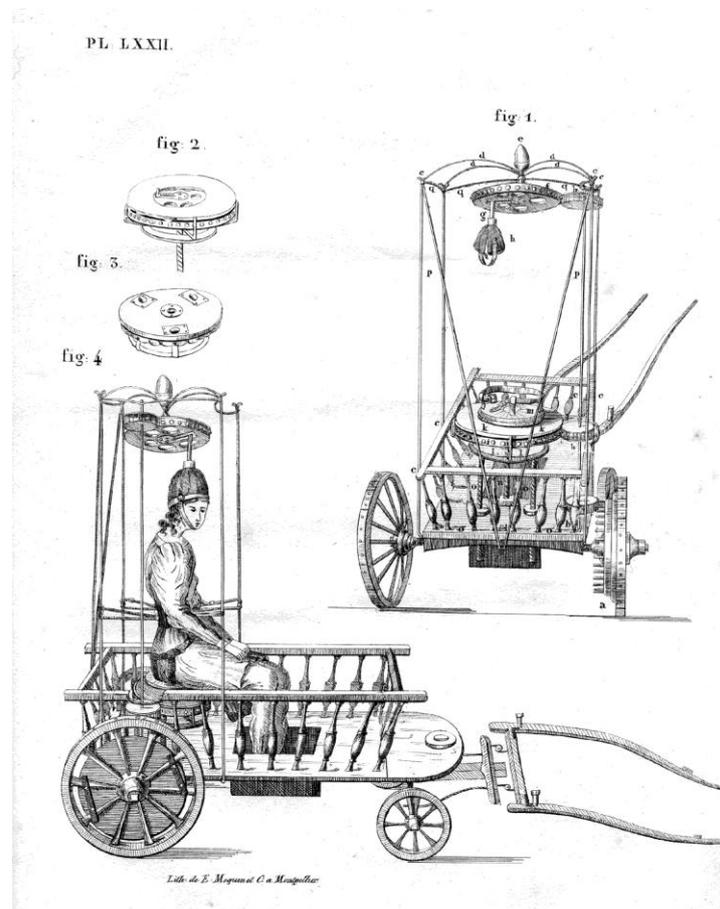


Figure 3 : Exemple de traitement orthopédique de la scoliose décrit par Delpech à Montpellier en 1828.

Des descriptions précises avaient déjà été publiées à la fin du XVIII^{ème} siècle (Adams 1882, Albert 1895, Meyer Von 1866, Nicoladoni 1904). Nicoladoni, utilisant des coupes dans les trois plans de l'espace, a donné une description très précise des modifications morphologiques précoces survenant au niveau de la vertèbre scoliotique (*Figure 4*). Il décrivit très bien du côté de la concavité de la courbure, la plus grande longueur et la plus grande finesse du pédicule, ainsi que la plus grande densité de l'os spongieux. Il a montré également dans son ouvrage que le cartilage de croissance neuro-central restait ouvert du côté de la concavité alors qu'il se fermait du côté de la convexité de la courbure.

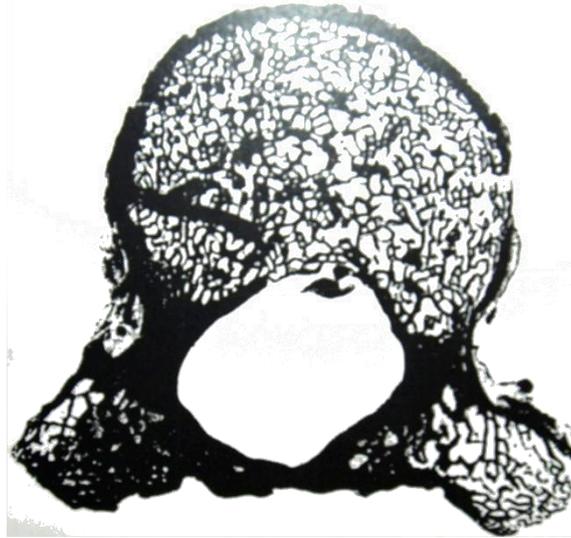


Figure 4 : Vue supérieure de la coupe d'une 9^{ème} vertèbre thoracique d'une enfant de 6 ans et demi qui présentait une scoliose thoracique (convexe) droite. La figure montre le cartilage neurocentral ouvert du côté de la concavité et fermé du côté de la convexité, un pédicule plus long du côté de la concavité, ainsi qu'une trame osseuse plus dense (Nicoladoni 1904) .

Différents types étiopathogéniques de scoliose sont décrites : congénitales, neuromusculaires, tumorales, dégénératives de l'adulte et idiopathiques. La scoliose idiopathique est en quelque sorte un diagnostic d'élimination, puisqu'elle évolue sans relation avec tout autre processus pathologique décelable, contrairement aux scolioses secondaires. Elle demeure la plus fréquente de toutes les scolioses. En fonction de l'âge au moment du diagnostic, trois formes sont décrites (Guillaumat 2000, Lonstein 1994): Les *formes infantiles* sont découvertes avant l'âge de 3 ans, peuvent être spontanément régressives, mais sont le plus souvent progressives. Elles sont habituellement dorsales et particulièrement redoutables. La scoliose idiopathique infantile progressive atteint aussi souvent le garçon que la fille – Les *formes juvéniles* apparaissent elles entre 3 ans et la puberté. Elles n'évoluent pas toutes avec la même rapidité et la même gravité. Certaines restent stables longtemps ou définitivement, mais elles auront toutes à franchir la période de croissance vertébrale rapide qu'est la puberté. Celle-ci constitue toujours un cap à risque pour le scoliotique. La scoliose idiopathique juvénile atteint à 80% les filles et la forme thoracique est à convexité droite dans 70% des cas – Les *formes de l'adolescent* apparaissent entre 10 ans et le début de la puberté, et représentent 80% des scolioses idiopathiques (Kouwenhoven 2007). Leur développement est habituellement moins sévère car proche de la fin de la croissance vertébrale.

La prévalence de la scoliose idiopathique de l'adolescent est de 1 à 3 % entre 10 et 16 ans (Morais et al. 1985, Weinstein et al. 2008, Yong et al. 2009). Quarante pour cent d'entre elles ne seront pas évolutives, dix pour cent le seront (Little et al. 2000). Ce risque évolutif est difficile à évaluer pour chaque individu mais l'on sait qu'une scoliose, découverte alors que l'angle de Cobb atteint plus de 25°, présente un risque évolutif plus sévère et que la surveillance pour faire la preuve de son évolutivité n'est pas souhaitable (Tan et al. 2009). La scoliose idiopathique chez l'adolescent se développe principalement pendant la phase pubertaire (Bunnell 1984, Dickson 1988, Loncar-Dusek et al. 1991, Willner 1984) et les filles sont plus touchées que les garçons (Mellin and Poussa 1992, Poussa et al. 1989, Schultz A. B. et al. 1984, Willner 1974). Il est intéressant de noter que pour les scolioses idiopathiques infantiles, le sexe ratio est directement dépendant de l'angulation : 1/1 pour de petites déformations entre 5 et 10° ; 2 à 4/1 lorsque la courbure est entre 10 et 20° ; 8 à 10/1 pour des courbures au de là de 30° (Guillaumat 2000). Ainsi l'équation physiopathologique complexe de la scoliose idiopathique doit inclure ce facteur sexuel. Il est par conséquent important dans les études d'en tenir compte d'autant plus que la période pubertaire, et donc la maturité osseuse, sont décalées par rapport à l'âge chronologique entre le garçon et la fille.

L'enjeu du traitement des scolioses est de taille car si la scoliose idiopathique n'entraîne que très rarement un retentissement fonctionnel, elle peut avoir en fonction de sa gravité des retentissements respiratoires, neurologiques, douloureux et esthétiques (Guillaumat 2000). La cohésion articulaire des vertèbres thoraciques scoliotiques avec les côtes va désorienter la cage thoracique et générer un syndrome respiratoire restrictif : du côté de la convexité, le corps vertébral pénètre dans l'hémi-thorax (*Figure 5*) et les côtes sont verticalisées, entravant l'expansion du champs pulmonaire correspondant ; du côté de la concavité, les côtes sont horizontalisées, améliorant le développement du volume pulmonaire mais gênant la dynamique respiratoire par la diminution de la fonction musculaire, diaphragmatique en particulier (*Figure 6*).



Figure 5 : Répercussion de la déformation vertébrale sur la cage thoracique (pénétration du côté convexe de la courbure du corps vertébral sans le champs pulmonaire homolatéral).



Figure 6 : Répercussion de la déformation vertébrale sur la cage thoracique (verticalisation des côtes du côté de la convexité, horizontalisation des côtes du côté de la concavité).

Dans les formes majeures un retentissement cardiaque avec hypertrophie ventriculaire droite peut apparaître (Barois 1986). Sur le plan neurologique, la survenue de troubles médullaires au cours de l'histoire naturelle de la scoliose est exceptionnelle et doit remettre en cause la nature idiopathique de l'affection. Par contre, les complications neurologiques représentent un risque potentiel au cours du traitement chirurgical de la scoliose aussi modérée soit-elle. La scoliose idiopathique n'entraîne habituellement pas de douleur. Toute manifestation douloureuse doit, là aussi, pousser à remettre la nature idiopathique en cause, en faveur d'une cause primaire tumorale, infectieuse, inflammatoire ou dystrophique. Enfin le retentissement esthétique, perçu parfois par l'adolescent lui-même, est surtout mal vécu par la famille. A cet âge de l'adolescence, les parents n'ont plus l'opportunité, en dehors de certaines activités, de voir le dos de leur enfant, et le sentiment de culpabilité de ne pas avoir remarqué la déformation plus tôt est souvent bien décelable.

Diagnostic positif

Si le pronostic est difficile à établir, le diagnostic positif est aisé. Le diagnostic précoce est capital et demeure en tout premier lieu clinique. L'examen du tronc va affirmer et définir la scoliose. Les critères de croissance et de maturation osseuse quant à eux vont évaluer le risque évolutif, le pronostic. L'examen général éliminera une éventuelle cause primaire en particulier tumorale, infectieuse ou neurologique.

L'interrogatoire recherche l'antériorité de la découverte de la déformation qui représente le motif de consultation à moins qu'il ne s'agisse d'une découverte lors d'un examen médical systématique ou d'un dépistage tel qu'il en existe dans les collèges. La notion de douleur doit faire rechercher une cause particulière, la scoliose de l'enfant n'étant pas douloureuse par elle-même. La recherche d'antécédents familiaux de scolioses doit être systématique bien qu'il n'y ait pas de corrélation entre la sévérité de la scoliose d'un sujet et celles d'autres membres atteints de la même famille, voire même celle d'un frère jumeau ou d'une sœur jumelle.

Après prise de la taille et du poids, après examen de la marche normale, rapide, sur la pointe des pieds et sur les talons, le tronc est examiné en ayant pris soin de compenser une éventuelle inégalité de longueur des membres inférieurs. Une cale de hauteur adéquate est placée sous le pied du côté le plus court de façon à ce que les épines iliaques postéro-supérieures droite et gauche (ou les petites fossettes situées en arrière du bassin) se situent sur une ligne horizontale. Il faut en effet veiller à ce qu'une inégalité de longueur des membres inférieurs, ne fasse pas prendre une attitude scoliotique pour une scoliose vraie : le traitement en serait bien différent.

Le diagnostic positif est fait principalement par la recherche d'une gibbosité (latin gibbosus : la bosse). Cette proéminence de la paroi postérieure du thorax est constituée par l'asymétrie droite-gauche des côtes au niveau thoracique et des masses paravertébrales au niveau lombaire, traduction de la rotation des corps vertébraux et donc de la déformation structurale du rachis lui-même. La gibbosité est facilement visible en se plaçant derrière le sujet scoliotique (*Figure 7*), placé debout, penché en avant, les membres inférieurs en rectitude. On mesure alors à l'aide d'un niveau à eau la hauteur de cette gibbosité, soit en cm grâce à une règle, soit en degrés à l'aide d'un scoliomètre.

En regardant l'enfant de dos, la hauteur des épaules et la déformation horizontale dans le sens horaire ou anti horaire, vue du dessus, sont mesurées ; l'alignement des épineuses vertébrale est évalué ; un effacement ou une accentuation d'un pli de la taille est apprécié (*Figure 8*); la rotation horaire ou anti horaire du bassin est notée. Un éventuel déséquilibre frontal du tronc

est mesuré à l'aide d'un fil à plomb qui, partant de l'épineuse de C7 doit normalement être aligné avec le pli interfessier. Puis le plan sagittal est étudié, toujours avec le fil à plomb positionné au niveau de l'occiput. La distance depuis cette ligne verticale et les épineuses repères du rachis est mesurée ; ces épineuses sont en général C4, C7, T7-T8, L3 et S2. Normalement, le fil à plomb est tangent au sommet de la cyphose thoracique (T7 – T8) et en S2. Les flèches des lordoses cervicales et lombaires mesurent 3 à 7 cm selon les morphologies individuelles et la taille des patients.

Ces éléments de dépistage et de diagnostic cliniques sont parfois très discrets que ce soit pour la gibbosité (*Figure 9*) ou l'asymétrie de la taille (*Figure 10*). Elles peuvent parfois être difficiles à mettre en évidence lorsque la déformation vertébrale est minime. Pour le dépistage d'une scoliose débutante, les éléments décrits ci-dessus doivent être recherchés de façon spécifique pour éviter d'omettre un diagnostic précoce. Dans de rares cas, ces anomalies ne peuvent être ignorées (*Figure 11 et 12*).



Figure 7 : Gibbosité d'une scoliose évoluée.



Figure 8 : Asymétrie franche de la taille et discrète des épaules chez une adolescente présentant une scoliose évoluée.



Figure 9 : Gibbosité thoracique très discrète d'une scoliose idiopathique infantile.



Figure 10 : Asymétrie très discrète de la taille chez une enfant présentant une scoliose idiopathique infantile. On peut observer aussi chez cette enfant un déséquilibre droit du tronc.



Figure 11 : Scoliose idiopathique infantile avec asymétrie et déséquilibre très importants du tronc.



Figure 12 : Gibbosité importante d'une scoliose idiopathique infantile.

Ensuite, l'examen général et neurologique s'efforce de rechercher une étiologie à cette scoliose. Le revêtement cutané est soigneusement examiné à la recherche de taches café au lait évoquant une neurofibromatose. La région lombo-sacrée peut être le siège d'une anomalie évoquant un dysraphisme : ombilication, angiome, lipome, touffe de poils sont des exemples. L'existence d'une hyperlaxité est évaluée au niveau des articulations. Un test aisé à réaliser est celui dit « du pouce ». Ce test est positif si le pouce en hyperextension peut entrer en contact avec l'avant-bras. Sur le plan neurologique, tout déficit, toute anomalie des réflexes non seulement ostéotendineux des membres inférieurs mais surtout cutané-abdominaux doivent conduire à la demande d'une IRM médullaire qui pourra mettre en évidence par exemple une moelle fixée basse ou une tumeur médullaire. Les antécédents de malformation cardiaque, trachéo-oesophagienne, anale, rénale peuvent orienter vers une malformation associée du rachis dans le cadre d'un syndrome de VACTERL. Des interventions chirurgicales chez le jeune enfant avec thoracotomie pour cure de malformation cardiaque ou d'atrésie de l'œsophage peuvent être la cause d'une scoliose.

Diagnostic topographique - Radiographie

La radiographie n'est pas indispensable au diagnostic mais est un élément objectif complémentaire de l'examen clinique. Lors d'une première consultation, il est souhaitable de demander une radiographie du rachis, debout de face. Celle-ci permet de confirmer la scoliose, d'en décrire son type morphologique (scoliose simple, double, triple - thoracique, thoraco-lombaire, lombaire) et d'évaluer sa sévérité par la mesure de l'angle de Cobb et de la rotation vertébrale. En outre, toute malformation vertébrale est visible, qu'il s'agisse d'une ou de plusieurs hémivertèbres, de malformations dites en puzzle, de synostoses vertébrale et/ou costales.

La mesure réalisée sur toute radiographie d'un sujet scoliotique est l'angle de Cobb qui va quantifier, dans le plan frontal, la déformation rachidienne (*Figure 13*). La méthode de Cobb consiste à déterminer les vertèbres les plus obliques, aux parties supérieure et inférieure de la courbure, dans le plan frontal (Cobb 1948). Des lignes perpendiculaires aux plateaux vertébraux de ces deux vertèbres sont tracées. L'angle entre ces deux lignes constitue l'angle de Cobb. Plus l'angle est large et plus la scoliose est importante. Cette mesure est d'une précision tout à fait satisfaisante avec une bonne reproductibilité intra et interobservateur. En effet, la déviation standard de la différence en angle de Cobb atteint 2° sur les mesures répétées d'une même radiographie par 3 opérateurs différents (Prujts et al. 1994).



Figure 13: Mesure de l'angle de Cobb sur la radiographie de face d'une scoliose idiopathique de l'adolescent. La méthode de Cobb consiste à déterminer les vertèbres les plus obliques aux parties supérieure et inférieure de la courbure. Des lignes perpendiculaires aux plateaux vertébraux de ces deux vertèbres sont tracées. L'angle entre ces deux lignes constitue l'angle de Cobb (Cobb 1948).

Une autre mesure représente un élément pronostic, c'est celle de la rotation vertébrale. Elle peut être quantifiée sur la radiographie de face en utilisant les classifications de Nash et Moe ou de Perdriolle qui apprécient respectivement la projection des pédicules ou de l'épineuse sur le corps vertébral (Nash and Moe 1969, Perdriolle et al. 1979). Mais si ces classifications sont très utiles pour les scolioses modérées et sévères, elles sont d'un intérêt bien moindre pour les scolioses débutantes. Notons que c'est sur cette même radiographie de face que la maturation osseuse sera évaluée selon la méthode de Risser (*Figure 14*) (Risser 1958).

La radiographie dans ce plan frontal va également donner la possibilité de caractériser précisément le type topographique de scoliose (*Tableau 1 & Figure 15*). Les courbures se distinguent en fonction du niveau de leur vertèbre sommet dans le plan frontal. Les formes à courbure principale unique représentent environ 70 % des scolioses idiopathiques, les formes à deux courbures principales, 30 %.

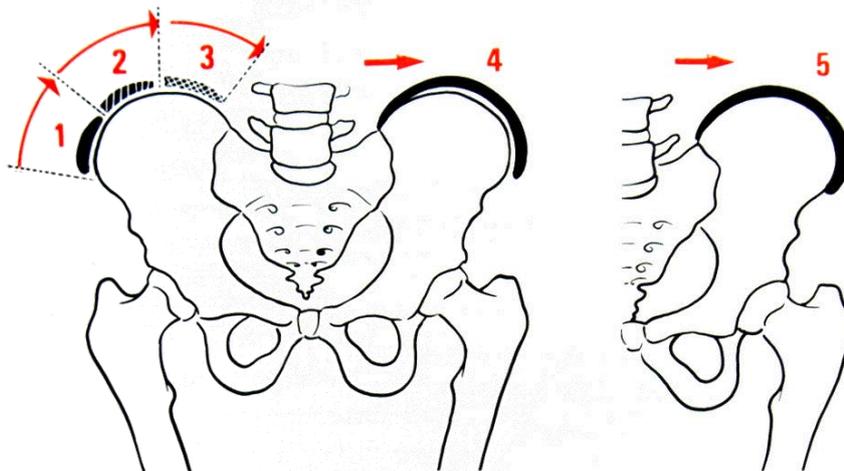


Figure 14 : Ossification de la crête iliaque (test de Risser). L'ossification débute au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure et progresse vers l'arrière. (Guillaumat 2000)

Risser 0 : Absence d'ossification.

Risser 1 : Ossification du premier tiers de la crête iliaque.

Risser 2 : Ossification du deuxième tiers de la crête iliaque.

Risser 3 : Ossification du troisième tiers de la crête iliaque.

Risser 4 : Début de soudure de la barrette à l'os iliaque.

Risser 5 : Fusion complète.

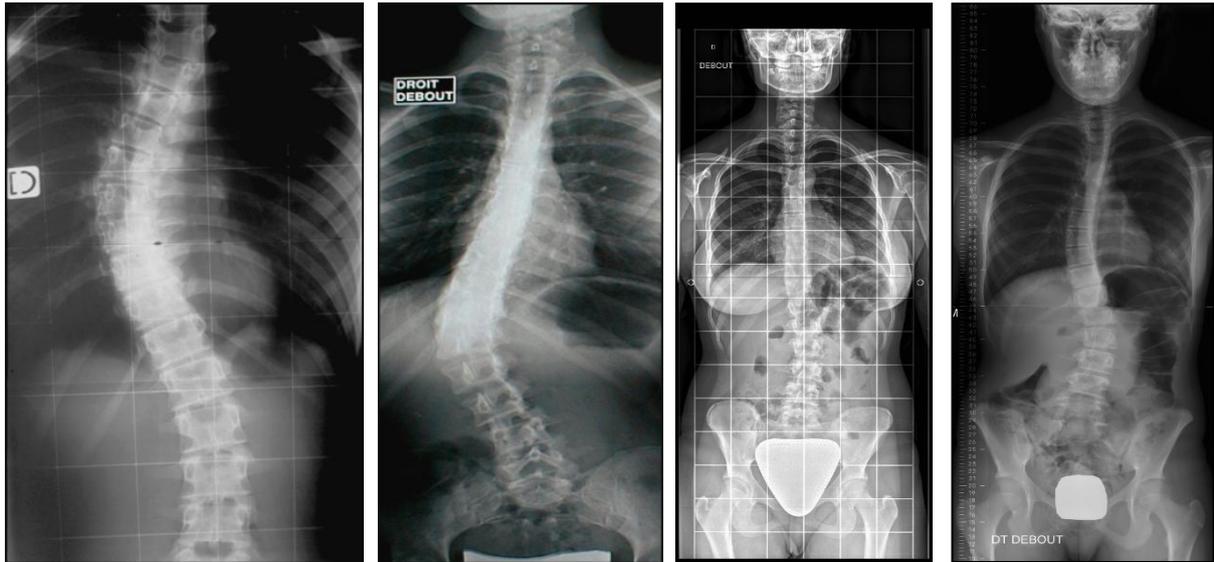


Figure 15: *Différents types topographiques de scoliose idiopathique sur la radiographie de face dans le plan frontal. De gauche à droite : scoliose thoracique ; scoliose thoraco-lombaire ; scoliose lombaire ; scoliose double majeure.*

Parmi les *scolioses à courbure principale unique* : Les scolioses thoraciques représentent 25% des scolioses idiopathiques. Leur apex se situe entre T2 et T11. Leur vertèbre limite supérieure est T4, T5 ou T6. La vertèbre limite inférieure est T11 ou T12. Le plus souvent, ces scolioses sont à convexité droite. La gibbosité est importante, liée à la déformation des côtes qui sont entraînées par la rotation vertébrale souvent marquée. Le déséquilibre des épaules est fréquent. Certaines scolioses thoraciques peuvent avoir un retentissement fonctionnel cardio-respiratoire sévère – Les scolioses thoracolombaires représentent environ 20% des scolioses idiopathiques. La vertèbre sommet est T12 ou L1. La vertèbre limite supérieure est souvent T7 ou T8. La vertèbre limite inférieure est L2 ou L3. Ces scolioses sont le plus souvent également à convexité droite. L'examen clinique met souvent en évidence une translation globale du tronc du côté de la convexité. Le pli de la taille du côté convexe de la courbure est effacé. La ligne des épaules reste souvent horizontale. La gibbosité est moins marquée que dans les courbures thoraciques. Ces scolioses restent en général longtemps réductibles et le retentissement respiratoire est modéré. Leur pronostic est cependant assez sévère, en raison du déséquilibre latéral qui tend à s'aggraver durant la croissance et dont la tolérance à l'âge adulte est souvent mauvaise – Les scolioses lombaires représentent environ 25% des scolioses idiopathiques. La vertèbre sommet est entre L2 et L4. Leur vertèbre limite supérieure est T11 ou T12. La vertèbre limite inférieure est L4 ou L5. Le plus souvent, ces scolioses ont une convexité gauche. L'examen clinique constate une chute latérale du tronc du

côté de la convexité. L'effacement du pli de taille convexe est évident, alors que la gibbosité reste toujours modérée, à la différence des formes plus haut situées. Ces formes étaient considérées comme relativement bénignes, car d'apparition souvent plus tardive et d'évolutivité moindre à l'adolescence que les scolioses thoraciques et thoracolombaires. Leur pronostic est en réalité sérieux à l'âge adulte, en raison du risque évolutif à distance. Enfin, il est important d'étudier l'étendue de la déformation vers le sacrum et le bassin. La rotation peut intéresser L5, voire le sacrum. Il peut exister une asymétrie du plateau supérieur de S1. Le bassin lui-même, appelé parfois vertèbre pelvienne peut être tourné et devenir asymétrique.

Les scolioses à deux courbures principales (scolioses « doubles majeures ») représentent 30% des scolioses idiopathiques. Une scoliose « double majeure » est une scoliose qui associe deux courbures structurales en sens inverse, d'angulations égales et de rotations voisines. S'il n'existe aucune rotation sur la courbure sus et sous-jacente, on parle de contre courbure d'une scoliose à courbure unique et non de scoliose double majeure. On admet que l'angulation doit être, à 10% près, la même au niveau de chaque courbure. La scoliose double majeure thoracique droite-lombaire gauche est la forme la plus fréquente. Elles représentent 25% des scolioses idiopathiques. A l'examen clinique, ces scolioses sont relativement peu apparentes car les deux courbures s'équilibrent entre elles et masquent ainsi l'asymétrie du tronc. Elles risquent donc de passer inaperçues. Il y a peu d'obliquité de la ligne des épaules, souvent peu d'asymétrie du pli de taille, pas de déséquilibre global, mais seulement un aspect de tronc « un peu court » par rapport à la longueur des membres inférieurs. C'est l'étude des gibbosités qui permet le diagnostic précoce. Ces scolioses ont une évolutivité de moyenne importance pendant la croissance, moins sévères que les scolioses thoraciques ou thoracolombaires. Elles ont la réputation d'être relativement bien tolérées à l'âge adulte. Au cours de la croissance, il est possible qu'une des deux courbures devienne plus évolutive et prédominante par rapport à l'autre. C'est le plus souvent la courbure thoracique, avec accentuation de la gibbosité. On se rapproche alors des problèmes posés par les scolioses thoraciques. Le traitement se trouve compliqué par la présence de la déformation lombaire et de l'atteinte de la quasi-totalité du rachis. Dans une minorité de cas, c'est la courbure lombaire qui se met à évoluer rapidement, en particulier si elle s'étend très bas sur L4 ou L5. On se trouve alors confronté aux problèmes posés par les scolioses lombaires – Les scolioses doubles thoraciques sont rares, de l'ordre de 1 %. La courbure thoracique supérieure s'étend de C7, T1 à T6. Elle est habituellement à convexité gauche. La courbure thoracique inférieure s'étend de T6 à T11, T12. Elle est

habituellement à convexité droite. L'examen clinique note le déséquilibre des épaules, deux gibbosités thoraciques. L'évolutivité est souvent importante, difficile à contrôler par les traitements orthopédiques. Ces courbures peuvent entraîner un retentissement cardiorespiratoire commun aux scolioses thoraciques. Ces scolioses doubles thoraciques peuvent s'associer à une troisième courbure structurale lombaire et constituer alors la scoliose « triple majeure », d'éventualité rare. Cette distinction topographique ne doit pas faire oublier l'analyse des deux plans, sagittal et transverse. Sur une radiographie de profil du rachis, différents types de déformation peuvent être observés (lordose thoracique, cyphose lombaire...) et sont importants à considérer pour une correction orthopédique ou chirurgicale, mais demeurent moins sensibles pour évaluer l'évolutivité d'une courbure. L'analyse topographique en forme double ou simple (thoracique, thoracolombaire et lombaire) doit être précisée car des troubles posturographiques respectifs différents ont été mis en évidence par Gauchard et al. (Gauchard et al. 2001)

Diagnostic évolutif - Pronostic

Le diagnostic clinique de scoliose idiopathique étant établi, il convient ensuite de situer l'enfant dans sa croissance et son évolution pubertaire. Outre l'âge, la taille et le poids, les signes cliniques de Tanner (Tanner 1962) ainsi que la date des premières règles positionnent l'enfant dans un véritable âge de croissance. Le pronostic va s'établir en cheminant sur un terrain glissant par plusieurs étapes de surveillance radio-clinique avec pour main-courante, les critères de maturation sexuelle et osseuse. Avant 1950, on connaissait seulement l'existence d'une accélération de l'aggravation à la période pubertaire et la stabilisation à maturité osseuse. Madame Duval-Beaupère a éclairci ce chapitre en décrivant ses lois évolutives établies, initialement pour les scolioses poliomyélitiques, puis élargies en 1970 aux scolioses idiopathiques (Duval-Beaupere 1970, Duval-Beaupere and Lamireau 1985, Duval-Beaupere et al. 1970). Elles ont été établies en traçant pour chaque cas, un diagramme portant en abscisse l'âge du patient et en ordonnée l'angulation scoliotique tout au long de la croissance d'un enfant scoliotique non traité (*Figure 16*). Les lois de Duval-Beaupère peuvent être énoncées en deux chapitres : *La linéarité évolutive* car les chiffres successifs d'angulation s'inscrivent à 3 ou 4 degrés près sur trois segments de droite qui se succèdent : Le 1^{er} segment correspond à l'enfance et est appelé prépubertaire. Sa pente p_1 traduit l'aggravation, en degrés par an, au cours de cette période ; le segment suivant dit pubertaire, résulte du redressement brutal au point P du segment précédent. L'aggravation se poursuit irrémédiablement selon la pente p_2 . Durant cette période l'aggravation de la scoliose poursuit son évolution alors que la vitesse de croissance diminue. Cette phase se prolonge jusqu'à ce que les noyaux d'ossification iliaque commencent leur soudure (Risser 4) ; commence ensuite le 3^{ème} segment, à peu près horizontal, qui traduit l'évolution à l'âge adulte. – *Les caractéristiques de l'évolution pubertaire* : L'étude de l'évolutivité des deux périodes essentielles avant et pendant la puberté, ainsi que l'analyse de la durée d'évolution pubertaire mettent en évidence des corrélations très significatives : plus p_1 est grand, plus p_2 sera grand ; plus l'évolution pubertaire est précoce, plus elle est prolongée. Les lois de Duval-Beaupère expliquent la valeur pronostique de l'âge de première constatation de la scoliose (Tan et al. 2009). La maturation est un élément influant sur l'évolution de la déformation scoliotique : la maturation pubertaire est volontiers évaluée selon les stades de Tanner (Tanner 1962) (*Figure 17*) et la maturation osseuse selon les stades de Risser (Risser 1958) (*Figure 14*). Mais ces moyens ne peuvent être que d'une aide partielle car les âges moyens de la zone à risque entre

ces différents moyens d'évaluation de la maturation sexuelle et osseuse varient entre 11 et 16 ans et la dispersion s'étend de 8 à 19 ans avec un décalage entre les deux sexes.

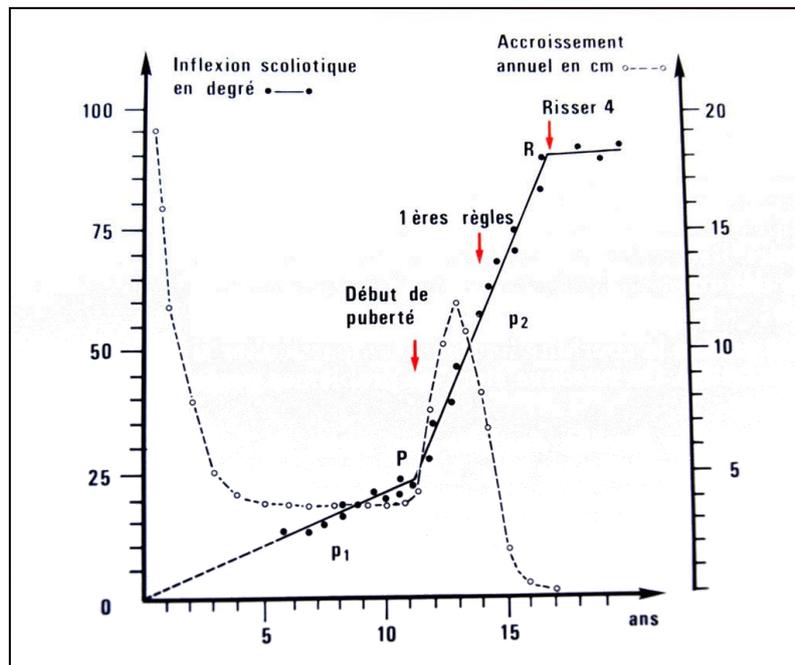


Figure 16 : Diagramme de Madame Duval-Beaupère montrant l'évolution de l'angulation scoliotique (angle de Cobb) en fonction de l'âge tout au long de la croissance d'un enfant scoliotique non traité. La courbe discontinue représente, pour un même enfant, la vitesse de croissance en fonction de l'âge. (Guillaumat 2000).



Figure 17 : Les stades de maturation sexuelle (selon Tanner) (Guillaumat 2000)

A gauche : **Développement mammaire :**

Stade 1 : Préadolescence. Il n’y a qu’une saillie de la papille.

Stade 2 : Bourgeon mammaire. Le sein et la papille se lèvent légèrement. Le diamètre de l’aréole augmente.

Stade de 3 : L’élargissement et la saillie du sein et de l’aréole s’accroissent, mais leurs contours ne sont pas distincts.

Stade 4 : Projection en avant de l’aréole et de la papille, qui forment une saillie en avant de celle du sein.

Stade 5 : Maturité. Seule la papille fait saillie, l’aréole se confond avec le contour général du sein.

A droite : **Evolution des poils pubiens chez la fille et le garçon :**

Stade 1 : Préadolescence. Le duvet pubien n’est pas plus développé que celui de l’abdomen. Pas de pilosité pubienne.

Stade 2 : Présence de quelques poils épars, longs, duveteux, légèrement pigmentés, droits ou à peine bouclés, qui apparaissent surtout à la base du pénis ou le long des grandes lèvres.

Stade 3 : Poils beaucoup plus denses, plus épais et plus bouclés. Ils s’étendent très peu au dessus de la symphyse pubienne.

Stade 4 : Aspect ressemblant à la pilosité adulte, mais la zone pileuse est beaucoup moins étendue. Pas d’extension sur les cuisses.

Stade 5 : Aspect adulte en localisation et en quantité, avec topographie horizontale (de type féminin). Extension vers les cuisses mais pas vers la ligne blanche. Ne débord pas la base de la surface pubienne.

En bas à droite : **Organes génitaux externes chez le garçon :**

Stade 1 : Préadolescence. Les testicules, le scrotum et le pénis ont à peu près la même taille et les mêmes proportions que dans l’enfance.

Stade 2 : Augmentation du scrotum et des testicules. La peau du scrotum rougit et change de texture. Peu ou pas d’augmentation de volume du pénis.

Stade 3 : Augmentation du pénis, portant d’abord sur sa longueur. Les testicules et le scrotum continuent à augmenter.

Stade 4 : Élargissement du pénis, développement du gland. Les testicules et le scrotum continuent de croître. La coloration de la peau du scrotum devient plus foncée.

Stade 5 : Organes génitaux adultes en forme et en taille.

Diagnostic différentiel

Si la majorité des scolioses n'a pas aujourd'hui d'étiologie connue et forme le grand groupe des scolioses idiopathiques (environ 70% des scolioses), le clinicien doit s'efforcer, nous l'avons vu, de retrouver une éventuelle cause. Les plus fréquentes sont :

- *Les scolioses malformatives* : Elles sont secondaires à une anomalie de l'embryogénèse du rachis et accompagnent volontiers d'autres malformations associées (syndrome VACTERL décrit plus haut). La radiographie permet d'en faire le diagnostic.

- *Les scolioses neurologiques* : Toutes les maladies neurologiques graves de l'enfant peuvent être responsable d'une scoliose : la poliomyélite d'autrefois est aujourd'hui remplacée par les maladies neuromusculaires avec au premier plan la dystrophie musculaire de Duchenne, l'amyotrophie spinale infantile, mais aussi des myotonies, la maladie de Charcot Marie Tooth, l'ataxie de Friedreich, les spina bifida... pour ne citer que les plus fréquentes. L'infirmité motrice cérébrale est également responsable de très nombreuses et sévères scolioses. Il ne faut pas oublier toute tumeur ou anomalie de la moelle épinière (syringomyélie...).

- *La neurofibromatose de Von Recklinghausen* : Certaines scolioses se caractérisent par la dystrophie osseuse qui les génère. La déformation sévère touche un petit nombre de vertèbres. Celles-ci peuvent présenter des encoches osseuses dues à une ectasie de la dure-mère ou à l'envahissement des neurofibromes des troncs nerveux. Sur le plan clinique, la présence de taches cutanées café au lait oriente le diagnostic.

- *Les hyperlaxités* : Elles touchent non seulement les ligaments et capsules articulaires des membres, mais également le complexe disco-ligamentaire du rachis. Certaines sont dans un contexte de maladies d'Ehler-Danlos, de Marfan d'autres sont de cause variable comme une cutis laxa, une trisomie 21.

- Toute anomalie osseuse vertébrale peut être à l'origine d'une scoliose. Les déformations osseuses secondaires à une *infection ou une tumeur osseuse* sont facilement identifiables.

- *Les ostéochondrodysplasies et maladies de surcharge* : Toutes ces affections rares et complexes peuvent déformer le rachis, avec de fréquentes atteintes de la jonction thoracolumbaire déformant le rachis en cyphoses angulaires graves. Il en est des achondrodysplasies, de nombreuses spondylo-dysplasies, quelque soit leur type exact. Certaines mucopolysaccharidoses sont à l'origine de scolioses. Nous ajouterons ici des tableaux aussi divers que le syndrome de Prader-Willi, de Coffin-Lowry...

- Enfin, chez adulte, des *scolioses dégénératives* peuvent débiter à un âge plus ou moins avancé. Elles sont secondaires aux phénomènes arthrosiques dégénératifs et ont pour localisation principale le rachis lombaire.

Lorsque toutes les causes de scoliose ont été éliminées, nous retenons le diagnostic de scoliose dite idiopathique.

Etiopathogénie de la scoliose idiopathique

Si la scoliose idiopathique de l'adolescent est avant tout un trouble orthopédique, de nombreux travaux ont tenté de trouver une cause. Pratiquement toutes les structures du corps humain ont été étudiées. Les études expérimentales menées chez les animaux peuvent difficilement être transposées à l'homme du fait de la bipédie qui le caractérise. Le caractère familial et féminin des scolioses idiopathiques de l'adolescent a été à l'origine de nombreuses études génétiques. L'inconvénient de ces travaux de qualité provient de leur isolement, chaque structure de recherche travaillant sans beaucoup de relation avec les autres structures. C'est pourquoi il faut souligner le rôle majeur joué par la Fondation Yves Cotrel. Le Dr Cotrel, chirurgien et éminent spécialiste de la scoliose a permis à sa Fondation de supporter financièrement une trentaine de structures de recherche dans le monde. Suivant la recommandation de son Conseil scientifique, la Fondation a décidé de soutenir prioritairement dans le cadre de son programme 2000-2010 les projets de recherche portant sur l'étiopathologie de la scoliose idiopathique, c'est à dire sur l'origine et le mécanisme d'évolution des scolioses idiopathiques. En attendant ces résultats, les chercheurs tentent aussi de déterminer des critères reproductibles qui prouveraient l'évolutivité des certaines scolioses. La Fondation Cotrel a été créée le 22 janvier 1999 sous l'égide de l'Institut de France, à l'instigation du Docteur Yves Cotrel. Elle a été officialisée par Décret du 27 octobre 1999. Une réunion scientifique annuelle rassemble tous les chercheurs. Ces travaux sont menés sur des populations éparses de scolioses, mais au fil des années, certains patients acceptent de participer à plusieurs études, ce qui renforce le point des résultats.

Les différentes recherches étiologiques sur la scoliose idiopathique progressent donc significativement. Nous allons faire un bref survol des différentes théories étiopathogéniques de la scoliose idiopathique de l'adolescent pour planter le décor des avancées au sein desquelles va prendre place notre étude. Quatre domaines peuvent être distingués : la génétique, le métabolisme, la biomécanique et le fonctionnement neurosensoriel. Nous traiterons ce dernier dans le chapitre qui suivra, au sein de la description du contrôle postural, auquel ce fonctionnement est très lié.

Génétique

Avec l'intérêt croissant de la détection précoce de la scoliose idiopathique, la conscience du mode d'héritage génétique des scolioses idiopathiques familiales s'est développée. Le rôle de certains facteurs génétiques a été établi par un certain nombre d'auteurs : Wynne-Davies a proposé un mode d'héritage de type dominant ou multifactoriel en étudiant les familles de 114 patients (Wynne-Davies 1968) – Robin a évalué le pedigree de cinq générations d'une même famille et a lui suggéré le mode de transmission autosomal ou multigénique (Robin and Cohen 1975) – Cowell et al ont eux conclu pour leur part à l'héritage sur un mode dominant lié à l'X avec une expressivité variable et une pénétrance inconstante. Ce mode de transmission a été confirmé ensuite par d'autres équipes (Cowell et al. 1972, Justice et al. 2003) – Dans des études récentes Nancy Miller a réalisé l'étude génomique de 202 familles retrouvant des gènes candidats sur les chromosomes 6, 9, 16 et 17 mais aussi sur le chromosome 19 comme l'avait montré plus tôt Chan (Chan et al. 2002, Miller et al. 2005). Au total, le rôle des facteurs génétiques est bien décrit, même si le mode de transmission n'est pas réellement élucidé. La plupart des auteurs sont d'accord pour dire que la génétique joue un rôle dans le développement de la scoliose idiopathique, mais ils sont aussi d'accord pour affirmer aussi, que d'autres facteurs sont en jeu.

Sous l'égide de la Fondation Cotrel, Nancy Miller (Baltimore, Maryland) travaille donc sur l'identification des gènes responsables de l'apparition de la scoliose idiopathique. Elle recherche les caractéristiques de leurs mutations et elle examine les relations entre génotype et phénotype exprimé. Ceci permet l'analyse des caractères génétiques dans la scoliose idiopathique familiale. Carol Wise (Dallas, Texas) mène ses recherches également sur la localisation et l'identification des gènes qui peuvent intervenir dans l'apparition de la scoliose idiopathique, et Matthew Dobbs (Saint-Louis, Missouri) tente d'établir une carte génétique des scolioses idiopathiques.

Métabolisme

Calmoduline

La calmoduline est un récepteur calcique contenu en particulier dans les plaquettes. Le taux augmenté de calmoduline (protéine capable de s'associer aux ions calcium présents dans le milieu cellulaire) a été impliqué dans la scoliose idiopathique en particulier évolutive (Acaroglu et al. 2009a, b, Kindsfater et al. 1994, Lowe et al. 2002). Son taux a été rapporté comme étant plus élevé dans des scolioses évolutives comparées à des courbes stables (Kindsfater et al. 1994). Son taux a également été trouvé diminué lors du traitement orthopédique de scolioses par corset (Lowe et al. 2002). Les plaquettes ayant des propriétés contractiles, l'hypothèse retenue serait que la calmoduline joue un rôle dans la contraction musculaire éventuellement au niveau des muscles paravertébraux. La calmoduline est donc impliquée mais sans la situer précisément encore dans un schéma métabolique étiopathogénique complet. Ses relations fonctionnelles étroites avec les récepteurs aux œstrogènes ne sont pas encore parfaitement définies.

La Fondation Cotrel soutient les travaux d'E. Acaroglu qui travaille sur la présence de la Calmoduline dans les muscles paravertébraux et de Jocelyne Enouf (Paris, France) qui travaille sur le transport des ions calcique et le rôle de la calmoduline plaquettaire dont la sécrétion est d'ailleurs modulée par la mélatonine.

Mélatonine

Plus connue comme étant une substance « anti fatigue » ou permettant de supporter les décalages horaires après trajet aériens, la mélatonine est manifestement impliquée dans la scoliose idiopathique. En 1959, Thillard a rapporté que la pinéalectomie chez les poulets était responsable de scolioses graves chez ces animaux. Ces travaux ont été confirmés par Dubousset et Machida (Machida et al. 1993, 1995, Machida et al. 2001, Thillard 1959).

Une caractéristique de la scoliose idiopathique est qu'elle est exclusivement décrite dans l'espèce humaine. Toutes les formes de scoliose reportées chez les autres vertébrés sont soit congénitales, neuromusculaires ou induites expérimentalement. La posture érigée bipède semble être un prérequis pour le développement de la scoliose idiopathique. Ceci a d'ailleurs été confirmé par les expériences de Machida, qui outre la mise en évidence du rôle de la mélatonine, de la sérotonine et de du 5 hydroxytryptophane dans le développement de la

scoliose, ont montrées qu'après une épiphysectomie seuls les rats bipèdes pouvaient développer une scoliose (Machida et al. 1999, Machida et al. 2005).

La Fondation Cotrel soutient les travaux de Masafumi Machida (Tokyo, Japon) sur le rôle de la mélatonine dans l'apparition et dans la progression de la déformation scoliotique, et soutient Alain Moreau (Montréal, Québec) dont les travaux sur l'analyse des voies de signalisation de la mélatonine et des profils d'expression moléculaire dans la scoliose idiopathique ont suggéré une anomalie de transduction de la mélatonine pour ensuite mettre en évidence une altération du récepteur à la mélatonine (Moreau et al. 2004, Moreau et al. 2009). Son équipe a mis en évidence une relation entre la mélatonine et un dysfonctionnement des ostéoblastes (Moreau et al. 2004).

Biomécanique

Dans le domaine biomécanique, la Fondation Cotrel soutient de nombreux projets. Jeremy Fairbanks (Oxford, UK) étudie le rôle des parties molles, c'est-à-dire non osseuses, disco-ligamentaires. Il existe en effet des anomalies des fibroblastes et des fibres élastiques qui n'ont pas de traduction clinique et peuvent exister dans les scolioses idiopathiques. Robert Pashman (Los Angeles, Californie) a montré que le flux vertébral du liquide cérébro-spinal était différent entre les côtés convexes et concaves en regard du sommet de la scoliose. Alain Berthoz (Paris, France) a rapporté des asymétries crânio-faciales particulièrement sur l'étude de scanner de la base du crâne. Jean-François Lavaste et Wafa Skalli (Paris, France) ont réussi à quantifier un ensemble de critères qui pourraient expliquer la survenue d'une scoliose et surtout en prédire l'évolutivité.

A partir de la position érigée, des facteurs biomécaniques, comme la très discrète asymétrie constitutionnelle du rachis et les forces de cisaillement postérieur, ont été bien étudiés par Kouwenhoven et Castelein (Kouwenhoven J. W. et al. 2006, Kouwenhoven J. W. et al. 2007a, Kouwenhoven J. W. et al. 2007b) et sont très certainement des facteurs prédisposant respectivement à des courbures thoraciques droites et lombaires gauches et à l'évolution d'une déformation scoliotique.

Neuro-sensoriel

Des anomalies des nerfs périphériques sont responsables de scolioses : spina bifida, résection pariétale avec résection des nerfs intercostaux, neurofibromatose sont connues comme étant à l'origine de scolioses secondaires. Une diminution des afférences proprioceptives pourrait intervenir dans la scoliose idiopathique (Robin 1972). Mais c'est essentiellement au niveau de l'encéphale que des travaux ont été menés. Des asymétries du diencéphale ont été retrouvées lors d'IRM (136). De nombreuses anomalies rapportées concernant l'appareil vestibulaire, l'activité EEG, la fonction sensorielle somatique et le contrôle postural démontre le rôle joué par le système nerveux et seront décrites ci-dessous. D'autres équipes étudient l'intégration par le cerveau de différents signaux visuels ou d'équilibre qui sembleraient perturbés chez le scoliotique (Simoneau et al. 2006a, Simoneau et al. 2006b).

Les dysfonctions du système nerveux central et le déséquilibre des muscles paraspinaux jouent tous les deux un rôle important dans les scolioses d'origine neuromusculaire mais dans la scoliose idiopathique ils sont plus considérés comme des phénomènes secondaires plutôt que primitifs. La longueur quelque peu réduite de la moelle épinière et l'asynchronisme de croissance neuro-osseuse a été évoquée mais la correction chirurgicale n'a heureusement que rarement de répercussion à type de paralysie (Chu et al. 2008, Porter 2001a, b). D'autres facteurs comme la croissance et l'ostéoporose ont été avancés, mais semblent être plus des phénomènes secondaires que primitifs.

Des travaux ont montré des anomalies électromyographiques des muscles paravertébraux . (Cheung et al. 2005). Une plus grande proportion de fibres musculaires de type 1 a été observée dans le muscle multifidus du côté convexe par rapport au côté concave. Il reste cependant controversé de déterminer s'il s'agit de causes ou d'effets en relation avec l'existence d'une scoliose (Cheung et al. 2005). Il en est de même pour les anomalies costales (Agadir et al. 1989). Ainsi, les côtes du côté concave sont plus longues que celles du côté convexe de la courbure thoracique.

Dans ce domaine, les équipes de la Fondation Cotrel, dont la notre, tentent à démontrer qu'il serait possible de détecter précocement l'évolutivité certaine des scolioses idiopathiques. Sylvette Wiener-Vacher (Paris, France) a montré des anomalies de la fonction vestibulaire otolithique (Wiener-Vacher and Mazda 1998). Jack Chun Yiu Cheng (Hong Kong, Chine) a trouvé une relation entre l'équilibre postural, les potentiels évoqués somesthésiques et la progression de la déviation scoliotique (Cheng et al. 1999). C'est ainsi en particulier dans le

domaine neurosensoriel que certaines pistes avancées ont permis de nourrir l'utilisation de la posturographie pour l'exploration de la scoliose idiopathique.

Contrôle postural

L'homme est soumis aux lois inéluctables de la gravité. En raison de sa bipédie, le rapport "surface d'appui / taille" est faible, du fait de l'étroitesse du polygone de sustentation et de la situation haute du centre de gravité. L'homme doit donc corriger en permanence les micro-déplacements physiologiques de son centre de gravité afin que la verticale passant par celui-ci se projette toujours dans ce polygone de sustentation. Le maintien de la posture, beaucoup plus instable que celle des quadrupèdes fait intervenir des mécanismes complexes contrôlés par le système nerveux central et sous-tend un système de régulation tonique postural.

Le contrôle de la posture s'organise sur la base d'un programme postural, puis intervient un certain nombre d'entrées neurosensorielles qui permettent au système nerveux central d'apprécier la position respective des différents segments ou encore de connaître la position du corps vis-à-vis de l'environnement. Il est aujourd'hui bien établi que des informations sensorielles multiples participent chez l'homme à l'organisation et au contrôle de la station debout, parmi lesquelles les informations vestibulaires, visuelles, proprioceptives et extéroceptives plantaires. Ces informations, participant au contrôle de la posture et de l'équilibre, ont chacune un poids relatif qui varie d'un individu à l'autre (El-Kahky et al. 2000).

La scoliose idiopathique est associée à un dysfonctionnement du contrôle postural (O'Beirne et al. 1989), particulièrement pour les adolescents avec des courbures évolutives (Yamamoto et al. 1982). Un déficit du système vestibulaire apparaît être un facteur constant chez les patients atteints de scoliose idiopathique, l'examen de la sensibilité des canaux semi-circulaires montrant une asymétrie (Sahlstrand and Petruson 1979, Sahlstrand et al. 1979, Yamamoto et al. 1982), des désordres dans les poursuites oculaires et les nystagmus induits par le vestibule et un réflexe vestibulo-oculaire perturbé (Jensen and Wilson 1979, Yamamoto et al. 1982), et enfin une apparition de nystagmus spontané (Sahlstrand et al. 1979). L'examen du complexe utriculo-sacculaire a montré une corrélation entre l'apparition de la scoliose idiopathique et une asymétrie vestibulaire (Wiener-Vacher and Mazda 1998). D'autres études ont montré que la scoliose idiopathique était accompagnée par des perturbations au niveau de la proprioception (Barrack et al. 1984, Keessen et al. 1992, Yekutiél et al. 1981), en particulier pour les patients souffrant d'une scoliose idiopathique sévère (Byl et al. 1997). Il apparaît également qu'une réorganisation ou une recalibration sensorielle ainsi qu'une modification du schéma corporel semblent associées à la scoliose idiopathique (Herman et al.

1985). De plus, la scoliose idiopathique semble être corrélée à un dysfonctionnement du tronc cérébral ou de l'intégration corticale ou sous-corticale des informations sensorielles (Jensen and Wilson 1979, Petersen et al. 1979, Sahlstrand et al. 1979, Simoneau et al. 2006a, Wiener-Vacher and Mazda 1998, Yamamoto et al. 1982). Des études concernant le système effecteur ont montré que les muscles paraspinaux semblent impliqués dans la progression de la scoliose idiopathique (Ford et al. 1984, Yarom and Robin 1979) et ont démontré un déséquilibre musculaire entre les deux cotés du rachis (Ford et al. 1988, Hoogmartens and Basmajian 1976, Schultz A. et al. 1981, Trontelj et al. 1979).

Ainsi, étant associée à des désordres à chaque niveau du contrôle postural et à une position anormale du centre de pression des pieds (Sahlstrand 1980, Spaepen et al. 1978), la scoliose idiopathique entraîne une altération du contrôle de l'équilibre (Adler et al. 1986, Byl et al. 1997, Driscoll et al. 1984, Gregoric et al. 1981), surtout dans les situations de conflit sensoriel (Byl and Gray 1993, Byl et al. 1997, Sahlstrand et al. 1978).

Sujets et Méthode

Participants

Soixante cinq adolescentes (âge moyen : $11,4 \pm 2,3$ ans), dont la scoliose idiopathique venait d'être diagnostiquée, ont accepté de participer à cette étude transversale multicentrique. Leur consentement écrit ainsi que celui de leur famille a été recueilli avant le démarrage de l'étude approuvée par le Comité de Protection des Personnes. L'examen clinique enregistré au cours de l'étude est celui de la première consultation spécialisée. Les tests posturographiques ont été menés dans le mois ayant suivi cette consultation.

Les participants de cette étude ont été recrutés dans 3 centres : le service de Chirurgie Orthopédique Infantile du Centre Hospitalier Universitaire de Nancy (Hôpital Brabois-Enfants), le service de Médecine Physique et de Réadaptation de l'Hôpital Brabois-Enfants et le Centre de Rééducation pour enfants de Flavigny-sur-Moselle.

Les critères d'inclusion imposaient un sexe féminin et un âge entre 10 et 14 ans. Seules les scolioses idiopathiques ont été incluses, excluant les étiologies congénitales, d'origine neurologique ou musculaire ainsi que tumorale. L'inégalité de longueur des membres inférieurs constituait également un facteur d'exclusion de l'étude.

Déroulement de l'étude et paramètres radio-cliniques

Parmi les paramètres morphométriques enregistrés lors de la consultation par le chirurgien ou le médecin de médecine physique et de réadaptation (MPR), le poids (P) et la taille (T) ont permis de calculer l'index de masse corporelle (IMC) selon la formule $IMC = P/T^2$ (en kg/m^2). Le chirurgien ou le MPR ont également réalisé l'examen neurologique et orthopédique permettant de poser le diagnostic de scoliose idiopathique et d'infirmer la présence d'une inégalité de longueur des membres inférieurs.

La mesure de l'importance de la déformation rachidienne et la détermination du type de scoliose ont été réalisés sur les radiographies par le même chirurgien orthopédiste pédiatre. L'importance de la déformation a été mesurée sur la télémétrie de colonne de face en utilisant l'angle de Cobb, utilisé en pratique courante en clinique par les scoliologues. Son amplitude détermine l'importance de la sévérité de la déformation. Plus l'angle de Cobb est élevé, plus

la déformation est importante. Dans cette étude l'objectif a été d'inclure des déformations tridimensionnelles peu importantes du rachis, aussi minimes soit-elles. La limite supérieure fixée était de 25°. Les plus petites déformations ont été retenues, sans limite inférieure fixée, à la condition que la patiente soit suivie plusieurs mois après cette première consultation et que cette courbure respecte par la suite la définition de la SRS (Scoliosis Research Society), soit un angle de Cobb supérieur ou égal à 10° au cours de son suivi. Les participants ont donc fait l'objet d'un suivi en consultation spécialisée au-delà de l'étude. Ainsi toutes les déformations de moins de 10° lors de la première consultation qui a intéressé notre étude, ont été confirmées ensuite comme des scolioses au cours de leur suivi. Sur le plan radiographique et dans le plan frontal, le type de la scoliose a été déterminé selon les 4 types décrits dans le tableau 1. En effet, le profil posturographique pouvant être différent en fonction du type de scoliose, il était nécessaire de vérifier l'absence de différence significative de répartition du type de scoliose entre les deux groupes (Gauchard et al. 2001). La classification de Lenke (Lenke et al. 2001) n'a pas été utilisée car elle a été conçue pour affiner les indications chirurgicales de la scoliose idiopathique de l'adolescent mais n'apporte pas d'élément physiopathologique ni pronostique particulier.

	Scoliose Thoracique	Scoliose Thoraco-Lombaire	Scoliose Lombaire
Vertèbre limite supérieure	T4, T5 ou T6	T7 ou T8	T11 ou T12
Vertèbre limite inférieure	T11 ou T12	L2 ou L3	L4 ou L5
Vertèbre sommet	T6- T10	T12-L1	L2-L3

Tableau 1 : Différentes vertèbres limites supérieures, inférieures et sommet d'une courbure scoliotique à courbure principale unique. Ces éléments définissent **les différents types topographiques de scoliose dans le plan frontal** (Guillaumat 2000).

Tests posturographiques

Agréments

Toutes les participantes ont été soumises aux trois tests posturographiques statique, dynamique avec oscillations sinusoïdales lentes et le test d'organisation sensorielle. Les épreuves posturographiques se sont déroulées, dans le Laboratoire "Equilibration et Performance Motrice", au Centre Hospitalier Universitaire de Nancy-Brabois, dans des locaux habilités pour l'expérimentation sur sujets sains, placés sous la direction du Professeur Philippe Perrin. Tous les tests posturographiques ont été réalisés par un chercheur n'ayant pas assisté à la consultation clinique et ignorant donc le degré de déformation rachidienne.

Tests statiques

L'ensemble des adolescentes a été soumis à ces tests posturographiques statiques sur une plateforme de forces verticales (Toennies GmbH, Freiburg, Allemagne), composée d'un plateau muni d'empreintes permettant le positionnement des pieds reposant sur 4 jauges de contraintes réparties aux angles à partir desquelles sont enregistrées les positions du centre de pression des pieds et ses déplacements (*Figure 18*). Une interface permet la transformation des informations de pression en informations électriques. Ces tests sont réalisés dans une pièce insonorisée, avec un éclairage artificiel.



Figure 18 : Plate-forme Toennies (Toennies GmbH, Freiburg, Allemagne) utilisée pour les tests statiques et dynamiques avec oscillations lentes du plateau.

Il a été demandé aux sujets en position orthostatique sur la plateforme, les pieds nus au niveau des repères, les bras le long du corps, respirant normalement sans inspiration ni expiration forcée, de rester le plus stable mais le plus détendu possible, la tête dans l'axe d'une cible à hauteur des yeux placée deux mètres devant eux durant la durée des enregistrements.

Dans le cadre de l'examen de l'équilibre statique des sujets, les déplacements du centre de pression des pieds sont enregistrés pendant 20 secondes grâce à une plate-forme de force. L'interface transformant les informations de pression en informations électriques permet de visualiser les positions successives du centre de pression des pieds au cours de l'enregistrement selon une abscisse droite/gauche et une ordonnée antéropostérieure (statokinésigramme) tout ceci en fonction du temps d'enregistrement (stabilogramme).

Le statokinésigramme (*Figure 19*) permet de recueillir les paramètres de longueur parcourue (L) et de surface couverte (S) par le centre de pression des pieds ainsi que l'amplitude des oscillations antéropostérieures et latérales de ce point. L'obtention de valeurs faibles aux paramètres L et S traduit la stabilité du sujet. Le paramètre L représente la dépense d'énergie mise en jeu par le sujet pour réguler son équilibre, et le paramètre S la précision du système postural (Gagey and Toupet 1991, Perrin and Perrin 1996). Les déplacements antéropostérieurs sont généralement plus importants que les déplacements latéraux (Magnusson et al. 1990a, Magnusson et al. 1990b) du fait d'un nombre de degré de liberté dans le plan sagittal (sous la dépendance de muscles extenseurs-fléchisseurs) plus élevé que dans le plan frontal (sous la dépendance de muscles abducteurs-adducteurs). De plus, les oscillations posturales dans les plans antéropostérieur et latéral sont indépendantes (Kapteyn 1973), leur fonction d'intercorrélation étant aléatoire.

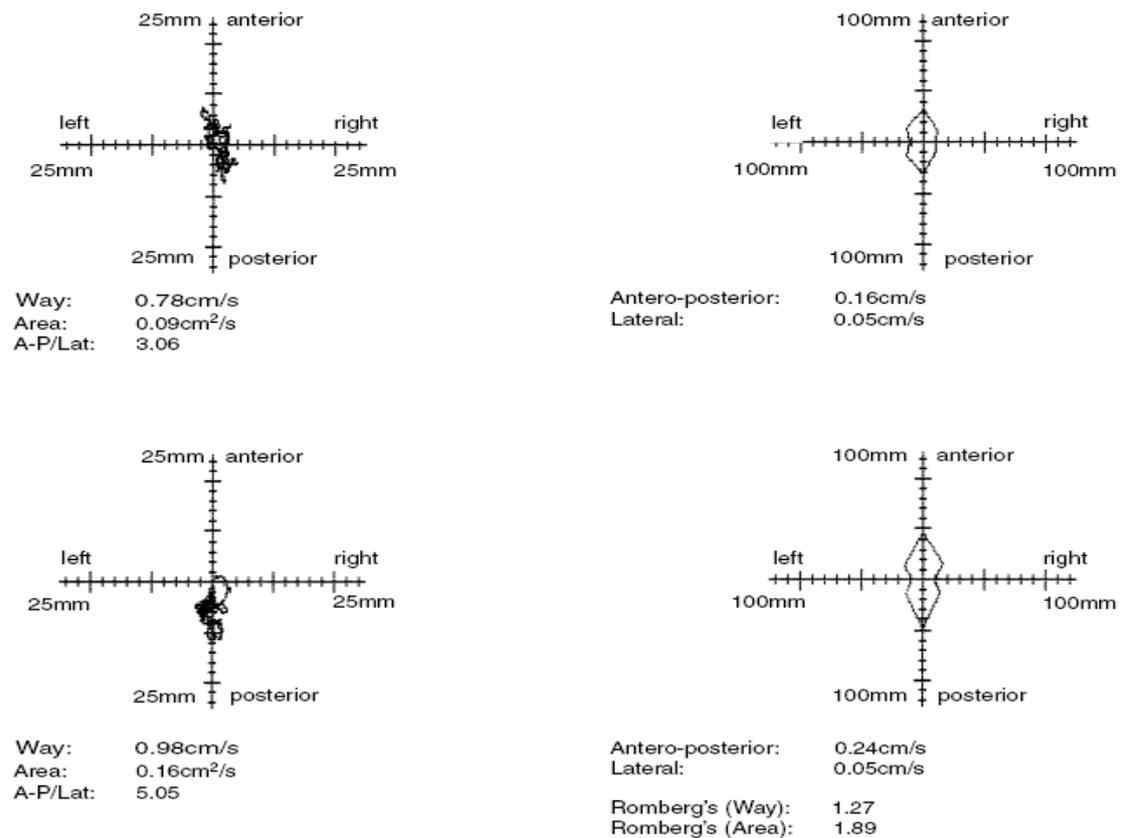


Figure 19 : Statokinésigramme d'une adolescente du groupe II. Les deux figures de gauche illustrent la mesure du paramètre longueur de déplacement du centre de pression des pieds. Les deux figures de droite illustrent la mesure de la surface dans laquelle se déplace le centre de pression des pieds. Les deux figures supérieures illustrent les mesures de longueur parcourue et de surface couverte par le centre de pression des pieds en condition yeux ouverts et les deux inférieures en condition yeux fermés.

Chaque test a été réalisé en condition yeux ouverts puis yeux fermés afin de quantifier le poids de l'afférence visuelle dans le contrôle de l'équilibre statique par l'intermédiaire du quotient de Romberg (QR). Celui-ci correspond au rapport entre la longueur parcourue par le centre de pression des pieds en condition yeux fermés et celle en condition yeux ouverts pour le QR longueur (QR_L), et au rapport entre la surface couverte par le déplacement du centre de pression des pieds en condition yeux fermés et celle en condition yeux ouverts pour le QR surface (QR_S) (Tropp et al. 1987, van Parys and Njiokiktjien 1976).

Au total, lors des épreuves posturographiques statiques, les statokinésigrammes obtenus ont permis de mesurer la longueur totale parcourue par les déplacements du centre de pression des pieds correspondant à la dépense d'énergie, et la surface couverte correspondant à la précision

du contrôle postural. La quantification du poids de l'afférence visuelle a également été déterminée par le quotient de Romberg (QR).

Tests dynamiques avec oscillations sinusoidales lentes du support

Cette seconde investigation posturographique a visé à étudier la réaction posturale de l'adolescente après une déstabilisation quantifiée, afin de déterminer le type de stratégie de coordination sensori-motrice privilégié par la patiente pour réguler son état d'équilibre. Ce test effectué sur la même plateforme que les tests statiques (Toennies GmbH, Freiburg, Allemagne), soumet le sujet à un mouvement d'oscillations sinusoidales lentes du support, dans le plan antéropostérieur, de 4° d'amplitude à la fréquence de 0,5 Hertz (*Figure 20*).

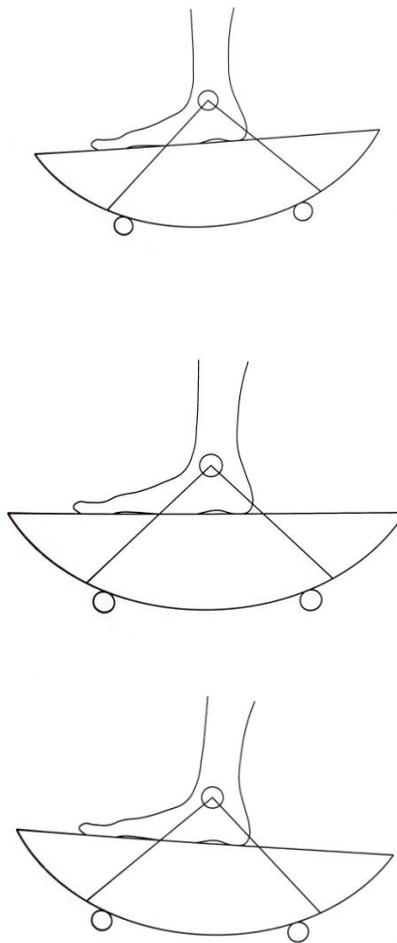


Figure 20 : Mouvements d'oscillation lents imposés dans le plan sagittal par la plate-forme Toennies (4° d'amplitude - 0,5 Hertz)

Là aussi les sujets sont en position orthostatique sur la plateforme, les pieds nus au niveau des repères, les bras le long du corps, respirant normalement sans inspiration ni expiration forcée. Il leur est demandé de rester le plus stable mais le plus détendu possible durant la durée des enregistrements, la tête dans l'axe d'une cible à hauteur des yeux placée deux mètres devant eux. On enregistre ainsi l'adaptation posturale du sujet à cette situation déstabilisante en condition yeux ouverts puis yeux fermés (Diener and Dichgans 1988), pendant 20 secondes après une période d'adaptation de 2 à 3 secondes. Après une courte phase d'adaptation, l'équilibre est essentiellement régulé par un rétrocontrôle positif provenant d'une activation programmée des muscles des membres inférieurs (Dietz et al. 1993).

Le stabilogramme représente l'amplitude des déplacements du centre de pression des pieds (ordonnée, en millimètre) en fonction du temps (abscisse, en seconde) dans les plans frontal (mouvements droite-gauche) et sagittal (mouvements avant-arrière) successivement. Le contenu fréquentiel des oscillations est analysé au moyen de la transformée rapide de Fourier (FFT), moyen d'analyse mathématique, permettant d'étudier l'amplitude des oscillations (en ordonnée, en millimètre) en fonction du logarithme des fréquences (en abscisse, en Hertz) dans les plans frontal et sagittal.

Les déplacements linéaires du centre de pression des pieds et leur transformée de Fourier ont été enregistrés. La transformée de Fourier exprime la répartition fréquentielle de l'amplitude et de la phase des déplacements du centre de pression des pieds; elle est représentée graphiquement sous la forme d'une (ou de plusieurs) raie(s) spectrale(s) caractéristique(s) du signal échantillonné, la fréquence d'oscillation du centre de pression des pieds du sujet étant par ailleurs comparée à celle de la plate-forme. La qualité de la réponse à la déstabilisation va donc être évaluée par le caractère homogène ou non des tracés au cours de l'épreuve (Perrin and Perrin 1996, Perrin et al. 1997a, Perrin et al. 1997b):

- un tracé homogène (type H) (Figure 21), isofréquentiel (pic de fréquence d'oscillations du sujet à 0,5 Hz comme celui de la stimulation), en opposition de phase par rapport à celui de la plate-forme sera décrit comme une stratégie de type I, distoproximale correspondant à une stratégie "Bottom-Up" ou de cheville (Horak and Nashner 1986, Nashner 1985). Ce type de stratégie traduira une grande stabilité. Cette séquence d'activation du bas vers le haut, utilisée par l'adulte normal en réponse à des perturbations lentes et modérées sur une surface ferme et étendue (Wolfson et al. 1986), déplace le centre de gravité corporel par rotation autour de l'axe formé par l'articulation de la cheville, le sujet oscillant comme un pendule inversé, les mouvements des genoux et des hanches étant négligeables. Ce type de stratégie est considéré comme anticipatoire.

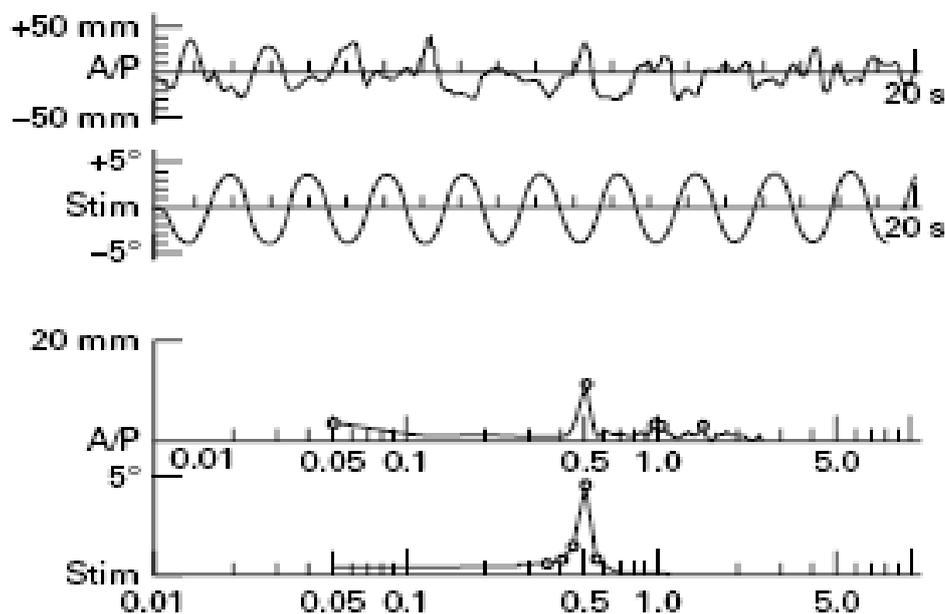


Figure 21 : Stabilogramme mettant en évidence une stratégie de type I chez une adolescente du groupe I.
Tracés obtenus en condition yeux ouverts.

- un tracé non homogène (type NH) traduit le recours à un changement de stratégie. Deux types de stratégies peuvent être déterminés:

- une stratégie de type II (Figure 22), témoin d'une certaine instabilité, traduit une séquence d'activation musculaire proximo-distale, correspondant à une stratégie "Top-Down" ou de hanche (Horak and Nashner 1986, Nashner 1985). Le pic de fréquence d'oscillations du sujet à 0,5 Hz existe mais n'est plus le pic principal, avec d'autres pics principalement dans les basses fréquences. Cette stratégie favorise un ancrage visuel et un référentiel vestibulaire, impliquant des mouvements de hanches et de nombreuses autres articulations qui vont repositionner le centre de gravité à l'intérieur du polygone de sustentation. Ces mouvements, qui transmettent les forces de cisaillement à la surface portante, créent un risque de chute lorsque le sol est glissant ((Horak et al. 1989). Ce type de stratégie est considérée comme réactionnel.

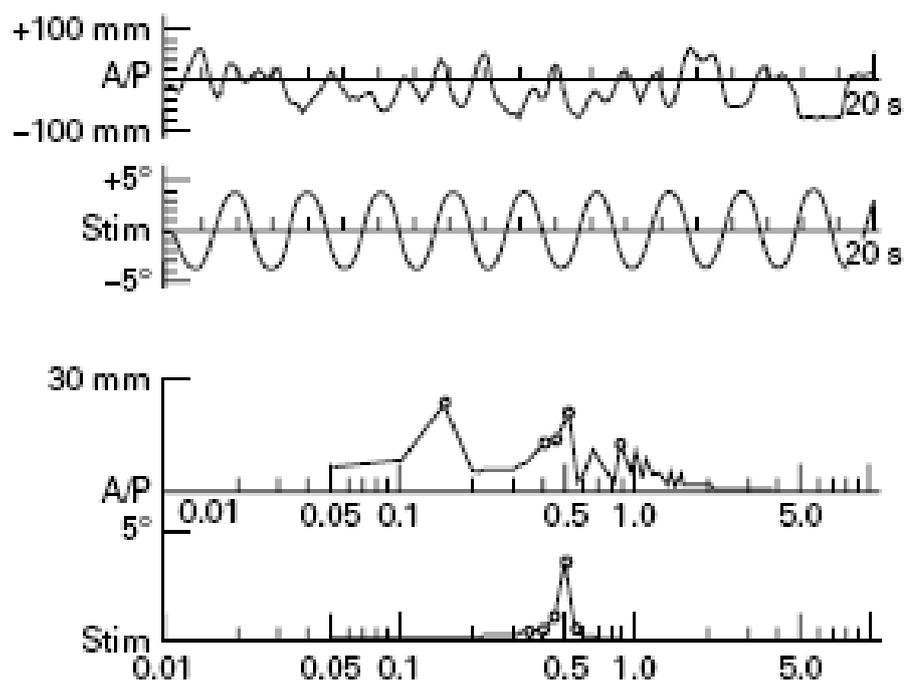


Figure 22 : *Stabilogramme mettant en évidence une stratégie de type II chez une adolescente du groupe II. Tracés obtenus en condition yeux ouverts.*

- une stratégie de type III traduira une très grande difficulté du sujet à maintenir son équilibre. Le sujet n'oscille plus à la même fréquence que le stimulus (le pic de fréquence à 0,5 Hz ayant disparu) et de nombreux pics dans les basses fréquences (0,05 Hz traduisant l'instabilité) et dans les hautes fréquences (1 Hz, traduisant les ajustements posturaux, mouvements de doigts, d'épaules, de tête) coexistent. Cette stratégie permet dans les situations difficiles de réduire les difficultés de l'ancrage visuel (Assaiante C 1988, Pozzo et al. 1990). Ce type de stratégie est obtenu chez tous les sujets dès lors qu'ils évoluent sur sol glissant. Cette dernière stratégie, conduisant à terme à la chute si le sujet ne fait pas un pas pour se rétablir, correspond à la stratégie du trébuchement ou "Stepping Strategy" (Horak and Nashner 1986). Cette stratégie du pas réaligne la base du support sous la nouvelle position du centre de gravité par des pas rapides, des sauts ou un trébuchement. L'adulte emploie ce type de stratégie sensorimotrice en réponse à des perturbations très fortes et très brusques.

Cette épreuve de posturographie dynamique avec oscillations lentes du support sollicite les trois types de capteurs (visuel, vestibulaire et somesthésique).

Au total ces tests dynamiques avec oscillations lentes de la plate-forme détermine le type de stratégie d'équilibration : anticipatoire ou réactionnelle, de cheville ou de hanche et ceci en condition yeux ouverts ou yeux fermés.

Tests d'organisation sensorielle (TOS)

Ces TOS sont des tests posturographiques dynamisés qui vont permettre d'évaluer la capacité d'un sujet à utiliser ensemble ou séparément les informations sensorielles visuelles, vestibulaires et somesthésiques pour maintenir son équilibre sur une plate-forme qui peut être fixe ou dépendre des propres mouvements du sujet. Ces TOS vont permettre également d'évaluer la capacité d'un sujet à supprimer ou gérer une information sensorielle erronée. Lors des tests les sujets sont en position orthostatique sur la plateforme Equitest® (Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA) (Figure 23).



Figure 23 : *Cabine Equitest® (Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA) utilisée pour les tests d'organisation sensorielle.*

EquiTest® utilise une double plate-forme (*Figure 24*). Les pieds du sujet sont nus et disposés au niveau des repères tracés sur la plate-forme pour calibrer la largeur du polygone de sustentation. Les bras sont placés le long du corps, le sujet respirant normalement sans inspiration ni expiration forcée. Il est demandé au sujet de rester le plus stable mais le plus détendu possible.

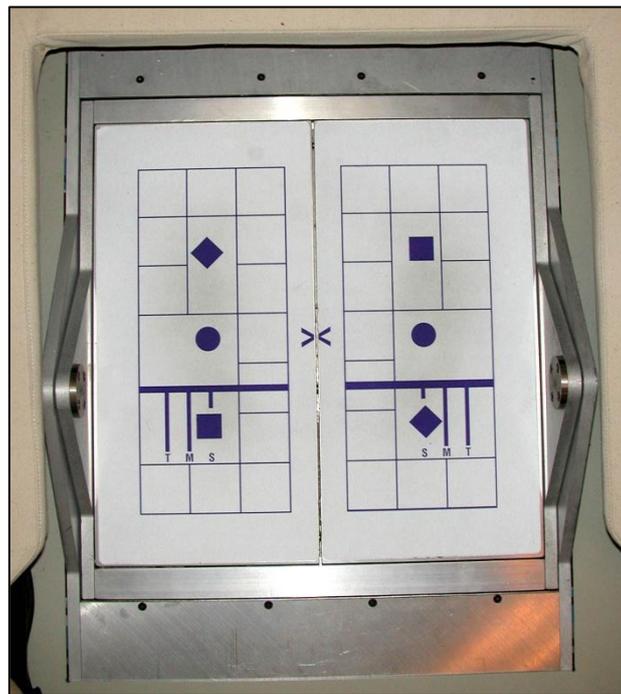


Figure 24 : Deux plate-formes de force couplées sur support qui peut être fixe ou mobile (EquiTest®)

Afin de fournir une information inadéquate, les entrées visuelles et somato-sensorielles peuvent être faussées par la technique de l'asservissement aux oscillations. En effet le support peut être asservi aux mouvements antéro-postérieurs du centre de gravité (Nashner and Peters 1990) de telle sorte que lorsque le centre de gravité se déplace vers l'avant lors d'une inclinaison antérieure du sujet, la machine va générer une inclinaison de la plate-forme vers l'avant. Ainsi la proprioception de l'articulation de la cheville devrait informer le système nerveux central (SNC) d'une flexion dorsale de cheville alors que va se produire une flexion plantaire de cette articulation. Le mouvement d'inclinaison de la plate-forme vers l'avant va générer la suppression de cette information proprioceptive et le sujet devra utiliser les autres afférences sensorielles vestibulaires et visuelles pour rétablir l'équilibre. De manière symétrique alors que l'extéroception lors de ce mouvement d'inclinaison du sujet vers l'avant devrait informer le SNC du sujet d'une augmentation de pression au niveau des orteils, cette

information ne parviendra pas au SNC et le sujet devra gérer cette information déficiente en faisant appel aux autres entrées sensorielles vestibulaires et visuelles. Si le support peut être asservi aux propres mouvements du sujet, sa vision peut l'être également. En effet autour du support est présent une cabine, support d'un paysage peint (*Figure 23*). La cabine peut être fixe ou asservie aux mouvements du centre de gravité du sujet enregistrés par la machine. Lors des propres mouvements du sujet et donc de son centre de gravité, la machine va pouvoir déclencher des mouvements proportionnels de la cabine. Au total la plate-forme peut être fixe ou asservie aux mouvements du sujet tout comme la cabine.

Le test d'organisation sensorielle est composé de six conditions (*Figure 25 & Tableau 2*), les trois premières avec une plate-forme fixe et les trois dernières avec une plate-forme asservie aux mouvements du patient. Les deux premières conditions produisent une mesure de la stabilité basique du sujet ; le support est fixe et les yeux du sujet sont ouverts (condition 1) ou fermés (condition 2), reproduisant ainsi les conditions de la posturographie statique. En condition 3, la surface de support reste fixe tandis que le sujet évolue les yeux ouverts dans un environnement visuel asservi à ces propres mouvements. En conditions 4 à 6, les informations somato-sensorielles sont systématiquement faussées par asservissement du support avec le sujet en condition yeux ouverts (condition 4), yeux fermés (condition 5) ou vision asservie (condition 6). Le participant doit se maintenir debout pendant trois essais de 20 secondes pour chaque condition en oscillant le moins possible et sans modifier le polygone de sustentation. Le participant porte un harnais de sécurité attaché aux montants de la cabine pour prévenir tout accident en cas de chute. Si le sujet nécessite une assistance du harnais ou fait un pas, le test est considéré comme une chute.

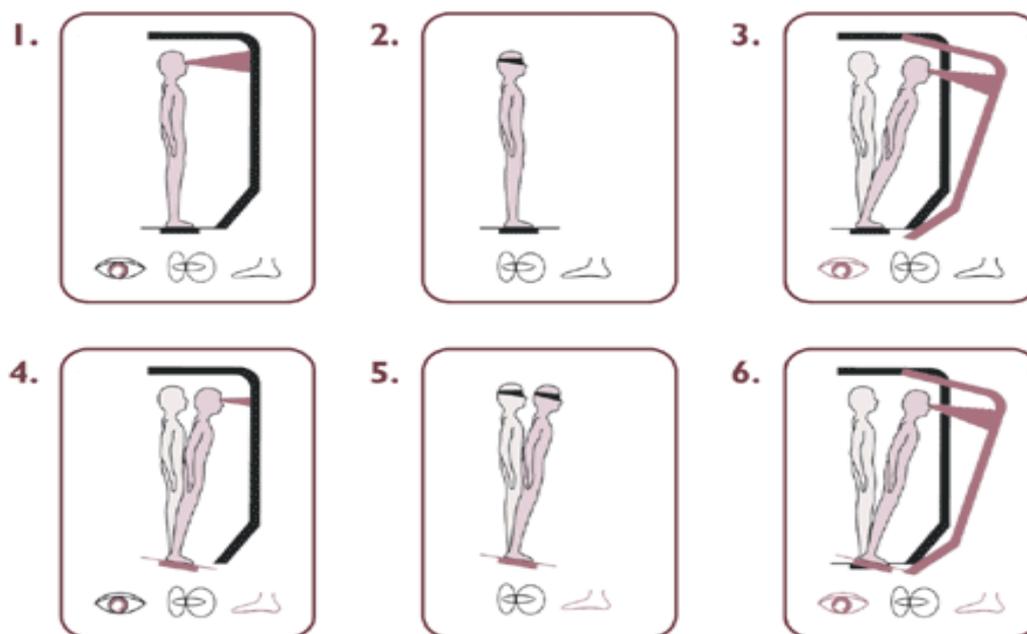


Figure 25 : 6 conditions des tests d'organisation sensorielle sur plateforme Equitest®: Lors des trois premières conditions la plate-forme est fixe, le patient ayant successivement les yeux fermés (condition 1), les yeux ouverts (condition 2) et la vision asservie à ses propres mouvements (condition 3). Lors des trois dernières conditions, la plate-forme est asservie aux mouvements du patient, le patient ayant successivement les yeux fermés (condition 4), les yeux ouverts (condition 5) et la vision asservie à ses propres mouvements (condition 6).

Un score d'équilibre (SE) est calculé en comparant les oscillations antéropostérieures du sujet durant chaque essai de 20 secondes aux limites d'oscillation théorique maximale de stabilité (8,5° en avant et 4,0° en arrière). Un score de 100 indique l'absence d'oscillations en dehors des limites théoriques, tandis qu'un score de 0 indique que les oscillations ont excédé les limites de stabilité, traduisant une chute. $C1^{SE}$ représente le score d'équilibre moyen des trois essais en condition 1, $C2^{SE}$ en condition 2, $C3^{SE}$ en condition 3, $C4^{SE}$ en condition 4, $C5^{SE}$ en condition 5 et $C6^{SE}$ en condition 6. Un score d'équilibre global (C^{SE}) est calculé en moyennant indépendamment les scores pour les conditions 1 et 2, puis en ajoutant les scores unitaires d'équilibre pour chaque essai des conditions 3, 4, 5 et 6, et enfin en divisant par le nombre total d'essais (Figure 26a).

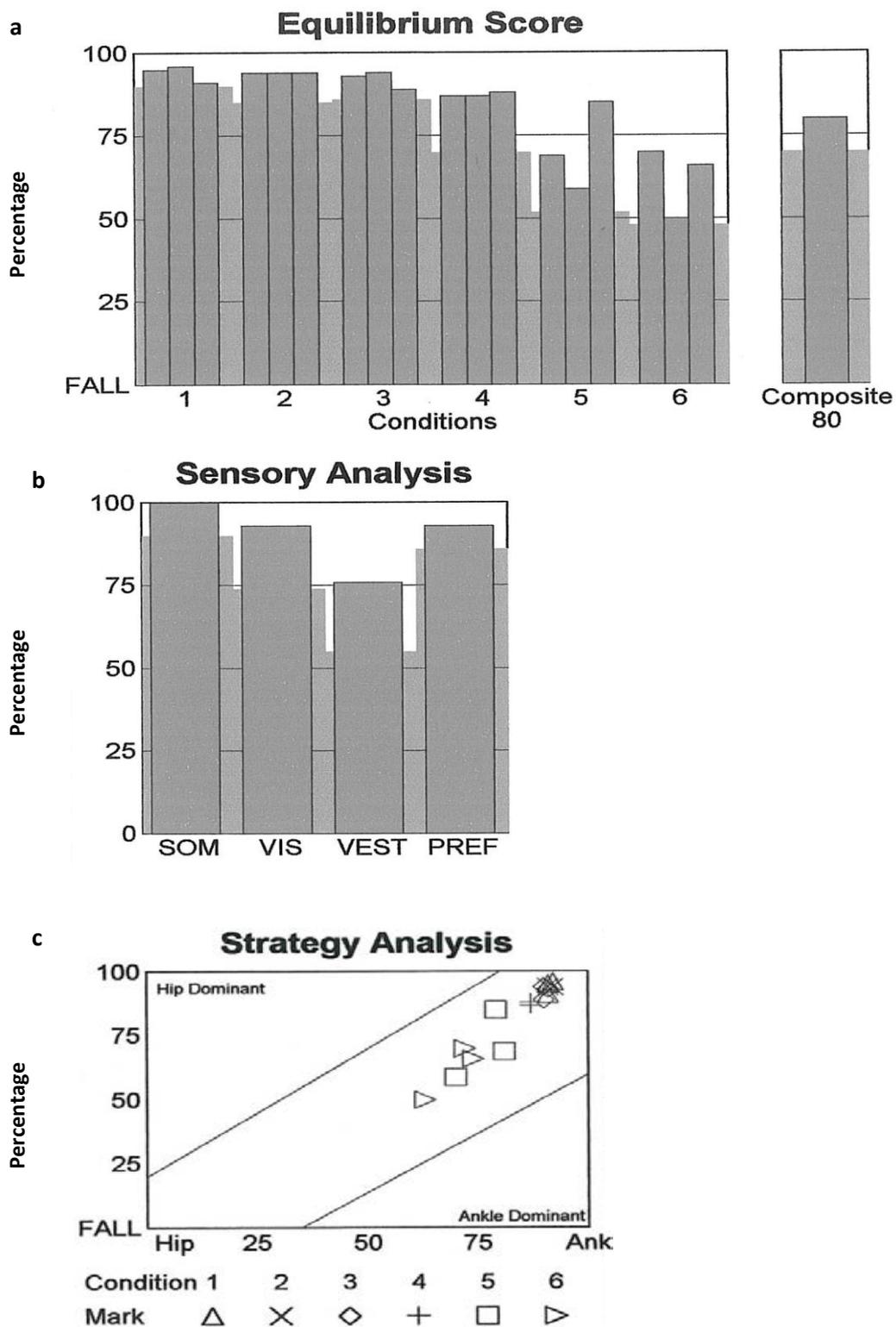


Figure 26 : Exemple de rapport des tests d'organisation sensorielle sur plateforme Equitest® pour une adolescente présentant une scoliose idiopathique du groupe 1: (a) Représentation des scores d'équilibre (de 0 à 100) dans les 6 conditions du score d'équilibre composite – (b) Représentation des ratios somesthésique (R^{SOM}), visuel (R^{VIS}) and vestibulaire (R^{VEST}) et de préférence visuelle (R^{PREF}) – (c) Représentation des scores de stratégie (dominance de hanche ou de cheville).

Chaque SE peut être ajusté à $C1^{SE}$ pour identifier la qualité d'utilisation de chaque système sensoriel impliqué dans le contrôle postural. Le ratio $C2^{SE} / C1^{SE}$ (R^{SOM}) représente la contribution somatosensorielle dans le contrôle de l'équilibre, le ratio $C4^{SE} / C1^{SE}$ (R^{VIS}) la contribution visuelle et le ratio $C5^{SE} / C1^{SE}$ (R^{VEST}) la contribution vestibulaire. De plus, la capacité à reposer sur une orientation visuelle pour s'équilibrer, ou préférence visuelle (R^{PREFV}), est évaluée en comparant les situations en environnement visuel asservi avec les situations en absence de vision [$(C3^{SE} + C6^{SE}) / (C2^{SE} + C5^{SE})$]. Enfin, la capacité à reposer sur une orientation proprioceptive pour s'équilibrer, ou préférence proprioceptive (R^{PREFP}), est évaluée en comparant toutes les situations de surface de support asservi aux situations de surface de support fixe [$(C4^{SE} + C5^{SE} + C6^{SE}) / (C1^{SE} + C2^{SE} + C3^{SE})$] (*Black et al. 1983, Black et al. 1995*). (Figure 26b & Table 2)

Conditions			
<i>Nom</i>	<i>Situation</i>	<i>Entrées disponibles</i>	<i>Entrées supprimées ou faussées</i>
Condition 1 (C1)	Yeux ouverts ; Support fixe	Vision ; Vestibule ; Somesthésie	---
Condition 2 (C2)	Yeux fermés ; Support fixe	Vestibule ; Somesthésie	Pas de vision
Condition 3 (C3)	Vision asservie ; Support fixe	Vestibule ; Somesthésie	Vision faussée
Condition 4 (C4)	Yeux ouverts ; Support asservi	Vision ; Vestibule	Somesthésie faussée
Condition 5 (C5)	Yeux fermés ; Support asservi	Vestibule	Pas de vision ; Somesthésie faussée
Condition 6 (C6)	Vision asservie ; Support asservi	Vestibule	Vision faussée ; Somesthésie faussée

Ratios			
<i>Nom</i>	<i>Rapport</i>	<i>Signification</i>	
Somesthésique (R^{SOM})	$C2 / C1$	Question :	Les oscillations augmentent-elles quand la vision est supprimée ?
		Faibles scores :	Mauvaise utilisation de la somesthésie.
Visuel (R^{VIS})	$C4 / C1$	Question :	Les oscillations augmentent-elles quand la somesthésie est faussée ?
		Faibles scores :	Mauvaise utilisation de la vision.
Vestibulaire (R^{VEST})	$C5 / C1$	Question :	Les oscillations augmentent-elles quand la vision est supprimée et la somesthésie faussée ?
		Faibles scores :	Mauvaise utilisation des entrées vestibulaires ou entrées vestibulaires anormales.
Préférence Visuelle (R^{PREFV})	$(C3+C6) / (C2+C5)$	Question :	La vision faussée entraîne-t-elle des oscillations plus importantes que lorsque l'entrée visuelle est supprimée ?
		Faibles scores :	Dépendance aux informations visuelles même si elles sont faussées.
Gestion de l'information proprioceptive faussée (R^{PREFP})	$(C4+C5+C6) / (C1+C2+C3)$	Question :	La somesthésie faussée augment-elle les oscillations comparée à la somesthésie ?
		Faibles scores :	Mauvaise compensation pour gérer une information proprioceptive faussée.

Tableau 2 : Test d'organisation sensorielle (TOS) (EquiTest®, Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA): Détermination des 6 conditions et signification des ratios sensoriels (Black et al. 1995, Herdman et al. 1995, Nashner and Peters 1990).

De plus, la quantité relative de mouvements de cheville (stratégie de cheville) et de mouvements de hanche (stratégie de hanche) que le sujet utilise pour se maintenir en équilibre durant chaque essai est également calculée. Une utilisation exclusive de l'articulation de cheville donne un score de 100 alors qu'une utilisation exclusive de l'articulation de hanche donne un score de 0 (*Figure 26c*). Un score de stratégie (SS) entre ces deux extrêmes représente une combinaison de ces deux stratégies. $C1^{SS}$ représente le score d'équilibre moyen des trois essais en condition 1, $C2^{SS}$ en condition 2, $C3^{SS}$ en condition 3, $C4^{SS}$ en condition 4, $C5^{SS}$ en condition 5 et $C6^{SS}$ en condition 6. Un score de stratégie global (C^{SS}) est calculé en moyennant indépendamment les scores pour les conditions 1 et 2, puis en ajoutant les scores unitaires d'équilibre pour chaque essai des conditions 3, 4, 5 et 6, et enfin en divisant par le nombre total d'essais.

Le test d'organisation sensorielle (TOS) a permis de déterminer le score global d'équilibre ou score composite (C^{SE}) et les différents scores unitaires ($C1^{SE}$, $C2^{SE}$, $C3^{SE}$, $C4^{SE}$, $C5^{SE}$ et $C6^{SE}$), ainsi que les ratios simples (R^{VIS} , R^{VEST} et R^{SOM}) et complexes (R^{PREFV} et R^{PREFP}). Le nombre de chute a été retenu lors des trois essais des conditions C5 et C6.

Reproductibilité des tests

Les outils de mesure pour être scientifiquement valable doivent satisfaire trois propriétés de base: la fiabilité, la sensibilité, et la spécificité (Chien et al. 2007). En terme de fiabilité, certaines études ont montré qu'il n'existait pas d'effet d'apprentissage observé au cours des tests posturographiques statiques (Deviterne et al. 2005, Jamet et al. 2004) ou dynamiques (Perrin et al. 1998). Par ailleurs, le test d'organisation sensorielle a montré qu'il existait un effet d'apprentissage pendant une session lors de la répétition de tests et à plusieurs sessions différentes pour les conditions les plus difficiles (Chien et al. 2007, Ford-Smith et al. 1995, Wrisley et al. 2007). Néanmoins, le TOS a été reconnu comme un outil fiable, en particulier lorsqu'il est effectué une fois pour chaque participant, comme dans la présente étude (Diard et al. 1997). En outre, le score composite d'équilibre a montré une sensibilité acceptable (Chien et al. 2007) et, en termes de spécificité, les scores d'équilibre présentent une bonne corrélation dans les activités quotidiennes et les chutes dans les mois suivant une évaluation posturographique (Buatois et al. 2006, Chien et al. 2007).

Analyse statistique

Le test de Student a été utilisé pour comparer entre les deux groupes les paramètres de posturographie statique et du test d'organisation sensorielle, tout comme l'âge, la taille, le poids et l'index de masse corporelle décrits dans le chapitre matériel et méthode. Le test du Chi² corrigé de Yates ou le test exact de Fisher ont été utilisés pour comparer la qualité des stratégies sensori-motrices lors des tests posturographiques dynamiques et pour les paramètres décrivant le type de courbure scoliothique. Les différences statistiquement différentes ont été acceptées pour un niveau de probabilité de $p \leq 0,05$ et une tendance statistique définie pour un $p \leq 0,10$.

Résultats

Les données concernant l'âge, la taille, le poids, l'index de masse corporelle et le type de courbure scoliotique sont présentés dans le *tableau 3*. Aucune différence significative n'a été mise en évidence entre les deux groupes pour tous ces paramètres.

	Groupe I, n = 35	Groupe II, n = 30	comparaison
	moyenne ± ds	moyenne ± ds	intergroupe
Age (années)	11,7 ± 2,3	11,1 ± 2,3	$t = 1,06$; NS
Taille (m)	1,50 ± 0,09	1,51 ± 0,14	$t = -0,12$; NS
Poids (kg)	38,5 ± 7,1	38,6 ± 8,7	$t = -0,06$; NS
IMC (kg/m ²)	16,9 ± 1,7	16,8 ± 2,2	$t = -0,06$; NS
Type Courbure	T (n°)	1	$\chi^2 = 3,36$; NS
	TL (n°)	10	
	L (n°)	10	
	DM (n°)	14	

Tableau 3 : Caractéristiques de la population: Moyenne ± déviation standard (ds) concernant l'âge, la taille, le poids, l'index de masse corporelle (IMC) et le type de scoliose idiopathique pour les deux groupes de patients (Group I: Angle de Cobb de 5° à 14°; Group II: Angle de Cobb de 15° à 25°). n' = nombre de patient présentant chaque type de courbure (T: Thoracique; TL: Thoraco-lombaire; L: Lombaire; DM: Double majeure). NS: non significatif.

Lors des tests statiques, les patients du groupe I présentaient de meilleures performances que le groupe II en terme de surface dans les conditions yeux ouverts et yeux fermés (yeux ouverts: $0,86 \pm 1,15$ cm²/s vs. $0,37 \pm 0,44$ cm²/s, respectivement, $t = -2,34$, $P = 0,023$; yeux fermés: $1,13 \pm 1,28$ cm²/s vs. $0,56 \pm 0,52$ cm²/s, respectivement, $t = -2,40$, $P = 0,020$), tout comme pour les oscillations latérales mais seulement en condition yeux fermés ($0,13 \pm 0,07$ cm/s vs. $0,10 \pm 0,05$ cm/s, respectivement, $t = -2,05$, $P = 0,044$). Par contre aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes pour les paramètres longueur (L) et oscillations antéro-postérieures dans les deux conditions yeux ouverts et yeux fermés, pour les oscillations latérales en condition yeux ouverts et pour le quotient de Romberg (QR)

Lors du test d'organisation sensorielle (TOS) les adolescentes du groupe II ont montré un contrôle postural moins performant comparé à celui des adolescentes du groupe I en condition 2 et dans les conditions de conflit sensoriel (C4, C5 and C6) (*Figure 27A*).

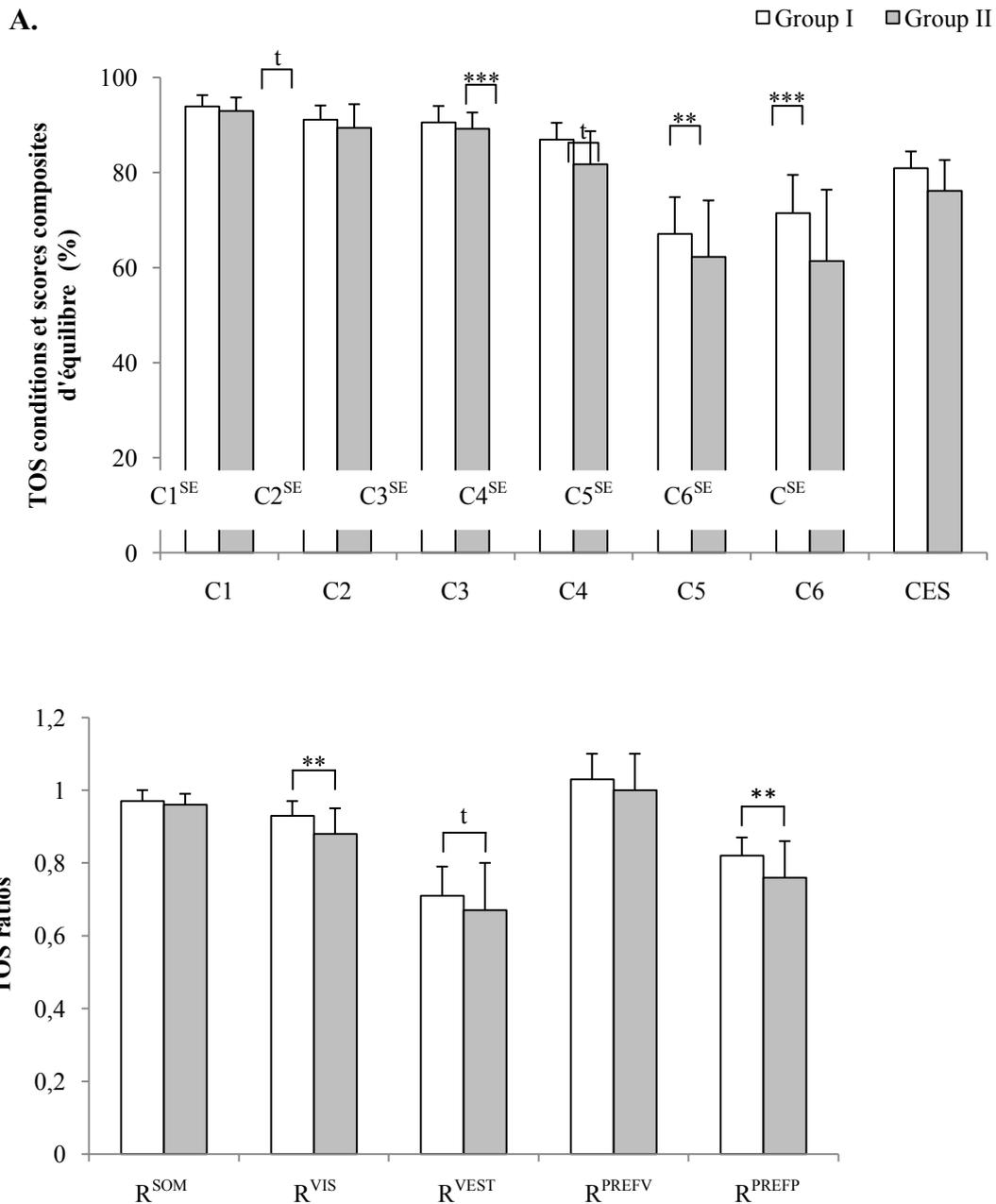


Figure 27 : Résultats des tests d'organisation sensorielles (TOS) : résultats moyennés avec déviation standard des score d'équilibre (SE) pour les 6 conditions (C1, C2, C3, C4, C5 and C6) et pour le score composite C et du score composite (C) (Graphe A) et des ratios (graphe B) pour les deux groupes de patients (Group I: angle de Cobb de 5° à 14°; Group II: angle de Cobb de 15° à 25°). * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$; ^t $P < 0,1$.

Par ailleurs, les ratios R^{VIS} , R^{VEST} and R^{PREFP} observés sont plus faibles dans le groupe II que dans le groupe I (*Figure 27B*). Aucune différence significative n'a été observée entre les deux groupes pour les scores d'équilibre $C1^{ES}$ et $C3^{ES}$ ainsi que les ratios R^{SOM} and R^{PREFV} . Pour les scores de stratégie, $C6^{SS}$ a montré des valeurs significativement meilleures dans le groupe I ($84,53 \pm 3,22 \%$) que dans le groupe II ($81,57 \pm 5,89 \%$) ($t = 2,56$, $P = 0,013$).

Lors des tests dynamiques avec oscillation lente du plateau (*Tableau 4*), aucune chute n'a été observée en condition yeux ouverts et la stratégie de type 1 prédomine dans les deux groupes, mais les adolescentes du groupe II présente statistiquement plus de stratégies de type II. En condition yeux fermés, la stratégie de type II est le plus souvent observée dans les deux groupes mais significativement plus dans le groupe II que dans le groupe I ; De plus 10% des adolescentes du groupe II ont présenté une chute alors qu'aucune chute dans le groupe I n'a été reportée.

TDL			Groupe I, n = 35 n' (%)	Groupe II, n = 30 n' (%)	Comparaison intergroupe
YO	Maintien	Type 1	33 (94,3 %)	22 (73,3 %)	Fisher's exact $P = 0,035$
		Type 2	2 (5,7 %)	8 (26,7 %)	
	Chute	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)		
YF	Maintien	Type 1	13 (37,1 %)	4 (13,3 %)	$\chi^2 = 7,45$; $P = 0,024$
		Type 2	22 (62,91 %)	23 (76,7 %)	
	Chute	0 (0,0 %)	3 (10,0 %)		

Tableau 4 : Tests posturographiques dynamiques avec oscillations lentes (TDL) : Fréquence des distributions dans les trois types de stratégies dans les conditions yeux ouverts (YO) et yeux fermés (YF) pour les deux groupes de patient (Group I: Angle de Cobb angle de 5° à 14° ; Group II: Angle de Cobb de 15° à 25°). n' = nombre de patients de chaque type de stratégie sensori-motrice.

Discussion

Cette étude, qui a évalué le contrôle postural sur plate-forme statique et dynamique, avec et sans conflit sensoriel, a montré que les adolescentes présentant un angle de Cobb plus ouvert témoignaient d'une instabilité posturale plus importante alors même que la déformation était modérée (angle de Cobb inférieur ou égal à 25°). En effet, lors des tests statiques, ces patientes présentaient des oscillations médio-latérales plus larges en conditions yeux fermées et la surface dans laquelle se déplaçait le centre de pression des pieds était plus étendue, reflétant un contrôle postural moins précis et ceci à la fois en condition yeux ouverts et yeux fermés. Lors des tests d'organisation sensorielle, et en particulier dans les situations les plus complexes, ce groupe de scolioses plus évoluées a témoigné de difficultés plus grandes à maintenir leur équilibre. Durant les tests d'oscillations lentes, ce groupe a présenté également plus de difficultés à anticiper les déplacements calibrés de la plate-forme. Les adolescentes chutaient parfois en condition yeux fermés et utilisaient plus souvent la stratégie de type 2 tant en conditions yeux ouverts que yeux fermés, démontrant ainsi une stratégie plus réactionnelle qu'anticipatoire par rapport au groupe de scolioses minimales.

Quelques limitations de l'étude peuvent être considérées. Tout d'abord, la taille de l'échantillon de population n'est pas très importante. Ensuite la participation aux activités physiques et sportives n'a pas été contrôlée spécifiquement pour cette étude. En effet, la pratique de certaines activités athlétiques est connue pour induire des effets bénéfiques sur le contrôle postural. Néanmoins dans notre étude aucune patiente n'a été dispensée d'activités sportives et aucune ne pratiquait d'activités sportives intensives.

Habituellement, l'équilibre en station debout est comparé à un modèle de pendule inversé (Gage et al. 2004). Sa régulation et son adaptation à l'environnement sont basés sur le tonus postural et les réflexes posturaux, et sont déclenchés à partir des entrées sensorielles vestibulaires, visuelles et somesthésiques impliquant des niveaux de contrôle élevés (Massion J 1996). Cependant, les entrées visuelles et somesthésiques sont suffisantes pour la régulation de la posture debout (Winter et al. 1998), les accélérations du centre de gravité se situant en dessous du seuil d'excitabilité de l'organe vestibulaire (Benson et al. 1986, Fitzpatrick and McCloskey 1994). Dans cette étude, les patients présentant les angles de Cobb les plus importants font état d'un moins bon contrôle postural se traduisant principalement par une augmentation des oscillations médio-latérales. Ce résultat est en accord avec les études de Simoneau et al. (Simoneau et al. 2006b) et Chen et al. (Chen et al. 1998) qui ont montré une

augmentation de la surface et des oscillations médio-latérales chez les patients scoliotiques. En revanche, nous n'avons observé aucune différence entre les deux groupes en ce qui concerne les oscillations antéro-postérieures, contrairement à l'étude de Chen et al. (Chen et al. 1998), mais cette étude comparait des patients présentant une scoliose sévère (Angle de Cobb entre 22 et 67°) avec des sujets sains. De plus, lorsque le contexte sensoriel change, un échange entre les informations sensorielles est pondéré selon les difficultés d'équilibre résultant, et l'apport des différentes boucles afférentes est modifié (Marsden et al. 1981, Peterka 2002). Dans ces études, la fermeture des yeux conduit à une plus grande contribution des autres afférences dans la régulation de l'équilibre comme les informations vestibulaires et somesthésiques. En effet, le fait que la différence dans les oscillations médio-latérales, seulement observée en condition yeux fermés, pourrait être expliquée par la moins bonne utilisation des entrées vestibulaires et proprioceptives. De plus, une explication biomécanique pourrait être mise en jeu. En effet le déséquilibre pourrait être induit par le déplacement du centre de masse du fait de la déformation scoliotique, en particulier dans le plan frontal, même si elle est modérée. Ceci conduit à un plus gros effort pour maintenir l'équilibre et rend le contrôle de l'oscillation plus difficile, surtout dans le plan médio-latéral.

Lorsque les situations posturales sont plus complexes, comme par exemple lors des mouvements imposés de la plate-forme ou des conflits sensoriels, le sujet scoliotique présentant la déformation la plus importante montre des capacités posturales réduites et un plus grand risque de chute. Dans les situations de conflit sensoriel, lorsque un minimum d'information est disponible ou valide, un changement de source d'informations sensorielles est nécessaire pour adapter l'équilibre en modifiant les boucles afférentes d'entrées sensorielles ce qui reflète un processus d'intégration central des informations adapté. Dans cette étude, les patients avec un angle de Cobb supérieur à 15°, ont montré une plus grande difficulté à gérer leur équilibre pendant des situations complexes. En effet les perturbations sensorielles proprioceptives conduisent à une augmentation de la difficulté du contrôle de l'équilibre, et ceci particulièrement lorsqu'elles sont couplées aux perturbations des informations visuelles. Par conséquent, on note que la gestion des informations proprioceptives altérées est moins efficace chez les adolescentes présentant une déformation rachidienne plus importante, une proprioception faussée entravant l'exécution des mécanismes posturaux appropriés. Au total, les patients présentant une scoliose plus importante témoignent de plus grandes difficultés à gérer le conflit sensoriel, mettant en évidence l'efficacité moindre de leur système nerveux central à intégrer les données

sensorielles nécessaires au contrôle postural (Yamamoto et al. 1982). Cette difficulté à organiser un contrôle postural parfaitement adapté aux différentes situations sensorielles conduit à utiliser plus souvent une stratégie posturale de hanche plutôt que de cheville. En effet, en augmentant la difficulté à utiliser les informations proprioceptives, le système nerveux central doit compter sur d'autres informations sensorielles comme celles du vestibule et de la vision. L'importance du poids de ces informations sensorielles conduit à une inversion des séquences d'activation musculaire avec une stratégie mal adaptée du haut vers le bas, caractérisée par une contribution plus large de l'articulation de la hanche à opposer à la stratégie plus stable du bas vers le haut basée sur la mobilité de la cheville (pendule inversé) (Horak and Nashner 1986). Ces résultats sont à considérer conjointement avec ceux des tests posturographiques dynamiques qui montrent que les adolescentes avec une déformation rachidienne plus importante sont sujettes à plus de chute lors des tests et utilisent plus la stratégie réactionnelle qu'anticipatoire. Classiquement, les bonnes performances lors des tests posturographiques dynamiques passent par une stratégie anticipatoire utilisant plus les chevilles que les hanches (Gauchard et al. 2001, Horak and Nashner 1986). Les mécanismes corrélés pour élaborer, programmer les réponses posturales réactionnelles conduisent à favoriser les ajustements posturaux réactionnels plutôt que les ajustements anticipatoires. Cette stratégie reflète les difficultés accrues de ces sujets présentant une courbure scoliothique plus importante à élaborer des stratégies posturales à partir des mouvements faussés. Ainsi la scoliose idiopathique pourrait représenter une atteinte plus spécifique de la fonction supérieure corticale, comme l'avait suggéré Machida (Machida et al. 1994).

Si cette étude en pratique quotidienne n'aura pas d'utilisation clinique directe, elle est en revanche une étape scientifique importante à l'étude prospective entreprise depuis 2004 pour permettre la détermination d'un index posturographique prédictif de l'évolutivité des scolioses idiopathiques. En effet, le rôle de la déformation biomécanique du rachis est souvent évoqué dans la genèse des troubles posturaux. Aussi l'étude ici présentée a permis, pour des scolioses peu évoluées au moment du diagnostic initial, de mettre en évidence les paramètres posturographiques spécifiquement modifiés par l'importance de la déformation. Pour que les présents travaux soit utiles à l'étude prospective en cours, nous avons pris soin de vérifier, par le suivi des adolescentes, que les deux groupes ne comportaient pas plus de scolioses ultérieurement évolutives dans un groupe que dans l'autre. Hors dans l'étude prospective en cours recherchant des paramètres prédictifs de l'évolutivité de la scoliose, les résultats préliminaires semblent mettre en évidence des paramètres posturographiques prédictifs

différents des paramètres retrouvés dans l'étude présentée ici. Ayant vérifié dans cette étude prospective que les deux groupes, évolutif et non évolutif, comportaient des déformations comparables (pas de différence statistique en termes d'angle de Cobb entre les deux groupes), la valeur prédictive de ces paramètres pourrait être affirmée. L'étude prospective n'est pas achevée mais inclut toutefois 82 sujets dont 70% sont à maturité osseuse ou présentent une scoliose évolutive. La nécessité d'une maturité osseuse en fin d'étude pour des patientes ne présentant pas de déformation rachidienne évolutive et les difficultés d'inclusion de scolioses débutantes ont quelque peu retardé les résultats complets de l'étude prospective. La fréquence des scolioses débutantes se présentant à la consultation chirurgicale en premier lieu est faible et peut expliquer le retard d'inclusion enregistré dans cette étude. Les différences mises en évidence au cours des tests statiques intéressent, à la différence de la présente étude, le paramètre de la longueur et le déplacement antéro-postérieur et ceci uniquement en condition yeux fermés. Pour les tests dynamiques avec oscillation lente du support, on observe dans l'étude prospective des stratégies moins anticipatoires comme dans l'étude présentée ici, mais uniquement cette fois-ci en conditions yeux fermés. Dans l'étude prospective, les différences apparaissant au cours des tests d'organisation sensorielle n'intéressent plus le ratio visuel mais touchent toujours les ratios de préférences vestibulaire et proprioceptive mettant toujours en évidence une difficulté d'adaptation aux changements d'informations afférentes pour le contrôle de l'équilibre.

Conclusion

Cette étude posturographique a mis en évidence un contrôle postural moins performant pour le groupe des scolioses les plus importantes malgré une déformation modeste, toujours inférieure à 25°, et démontre que si les tests posturographiques sophistiqués ont permis d'évoquer l'origine centrale des troubles de l'équilibre, les tests les plus simples sont discriminants et utilisables par le plus grand nombre de cliniciens. Cette étude a mis en évidence la sensibilité des outils posturographiques à détecter des troubles très fins de l'adaptation posturale dans la scoliose idiopathique de l'adolescente malgré l'absence d'anomalie clinique patente tant à l'examen clinique que lors de la pratique des activités sportives. Ces outils pourraient donc être utilisés très tôt pour détecter l'évolutivité des scolioses, dès leur diagnostic, à un stade précoce de leur évolution. Si seulement dix pourcent des scolioses idiopathiques sont évolutives, des tests posturographiques positifs pourraient

permettre de débiter un traitement très précoce, anticipant l'évolution de la déformation rachidienne et donc les séquelles de cette pathologie fréquente.

Bibliographie

- Acaroglu E, Akel I, Alanay A, Yazici M, Marcucio R. 2009a. Comparison of the melatonin and calmodulin in paravertebral muscle and platelets of patients with or without adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 34: E659-663.
- Acaroglu E, Akel I, Alanay A, Yazici M, Marcucio R, eds. 2009b. Comparison of the melatonin and calmodulin in paravertebral muscle and platelets of patients with or without adolescent idiopathic scoliosis. 2009/08/15 ed.
- Adams, ed. 1882. Lateral curvature of the spine, external characters and morbid anatomy (Lecture 4). London: Churchill.
- Adler N, Bleck EE, Rinsky LA, Young W. 1986. Balance reactions and eye-hand coordination in idiopathic scoliosis. *J Orthop Res* 4: 102-107.
- Agadir M, Sevastik B, Sevastik JA, Svensson L. 1989. Effects of intercostal nerve resection on the longitudinal rib growth in the growing rabbit. *J Orthop Res* 7: 690-695.
- Albert. 1895. Anatomie des Skoliose. *Wiener klinische Rundschau* 33: 513-515.
- Andry N, ed. 1741 L'orthopédie ou l'art de prévenir et de corriger dans les enfants les difformités du corps. Le tout par des moyens à la portée des Pères et des Mères, et de toutes les Personnes qui ont des enfants à élever. Paris: Veuve Alix.
- Assaiante C AB, Carblanc A. , ed. 1988. Peripheral vision and dynamic equilibrium control in five to twelve year old children. Elsevier Science ed. Amsterdam.
- Barois, ed. 1986. Retentissement cardio-respiratoire des cypho-scolioses Paris: Expansion Scientifique Française.
- Barrack RL, Whitecloud TS, 3rd, Burke SW, Cook SD, Harding AF. 1984. Proprioception in idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 9: 681-685.
- Becker TJ. 1986. Scoliosis in swimmers. *Clin Sports Med* 5: 149-158.
- Benson AJ, Spencer MB, Stott JR. 1986. Thresholds for the detection of the direction of whole-body, linear movement in the horizontal plane. *Aviat Space Environ Med* 57: 1088-1096.
- Black FO, Wall C, 3rd, Nashner LM. 1983. Effects of visual and support surface orientation references upon postural control in vestibular deficient subjects. *Acta Otolaryngol* 95: 199-201.
- Black FO, Paloski WH, Doxey-Gasway DD, Reschke MF. 1995. Vestibular plasticity following orbital spaceflight: recovery from postflight postural instability. *Acta Otolaryngol Suppl* 520 Pt 2: 450-454.
- Buatois S, Gueguen R, Gauchard GC, Benetos A, Perrin PP. 2006. Posturography and risk of recurrent falls in healthy non-institutionalized persons aged over 65. *Gerontology* 52: 345-352.
- Bunnell WP. 1984. An objective criterion for scoliosis screening. *J Bone Joint Surg Am* 66: 1381-1387.
- Byl NN, Gray JM. 1993. Complex balance reactions in different sensory conditions: adolescents with and without idiopathic scoliosis. *J Orthop Res* 11: 215-227.

- Byl NN, Holland S, Jurek A, Hu SS. 1997. Postural imbalance and vibratory sensitivity in patients with idiopathic scoliosis: implications for treatment. *J Orthop Sports Phys Ther* 26: 60-68.
- Chan V, Fong GC, Luk KD, Yip B, Lee MK, Wong MS, Lu DD, Chan TK. 2002. A genetic locus for adolescent idiopathic scoliosis linked to chromosome 19p13.3. *Am J Hum Genet* 71: 401-406.
- Chen PQ, Wang JL, Tsuang YH, Liao TL, Huang PI, Hang YS. 1998. The postural stability control and gait pattern of idiopathic scoliosis adolescents. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 13: S52-S58.
- Cheng JC, Guo X, Sher AH, Chan YL, Metreweli C. 1999. Correlation between curve severity, somatosensory evoked potentials, and magnetic resonance imaging in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 24: 1679-1684.
- Cheung J, Halbertsma JP, Veldhuizen AG, Sluiter WJ, Maurits NM, Cool JC, van Horn JR. 2005. A preliminary study on electromyographic analysis of the paraspinal musculature in idiopathic scoliosis. *Eur Spine J* 14: 130-137.
- Chien CW, Hu MH, Tang PF, Sheu CF, Hsieh CL. 2007. A comparison of psychometric properties of the smart balance master system and the postural assessment scale for stroke in people who have had mild stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 88: 374-380.
- Chu WC, Lam WM, Ng BK, Tze-Ping L, Lee KM, Guo X, Cheng JC, Burwell RG, Dangerfield PH, Jaspán T. 2008. Relative shortening and functional tethering of spinal cord in adolescent scoliosis - Result of asynchronous neuro-osseous growth, summary of an electronic focus group debate of the IBSE. *Scoliosis* 3: 8.
- Cobb JR. 1948. Outline for the study of scoliosis. . *Instr Course Lect* 5: 261-275
- Cotrel Y, Dubouset J. 1984. [A new technic for segmental spinal osteosynthesis using the posterior approach]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 70: 489-494.
- Cowell HR, Hall JN, MacEwen GD. 1972. Genetic aspects of idiopathic scoliosis. A Nicholas Andry Award essay, 1970. *Clin Orthop Relat Res* 86: 121-131.
- Delpech J, ed. 1828. De l'orthomorphie, par rapport à l'espèce humaine ou recherches anatomopathologiques . Sur les causes, les moyens de prévenir, ceux de guérir les principales difformités et sur les véritables fondemens de l'art appelé : ORTHOPEDIQUE. Paris: Gabon.
- Deviterne D, Gauchard GC, Jamet M, Vancon G, Perrin PP. 2005. Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. *Brain Res Bull* 64: 487-492.
- Diard JP, Aubin F, May D, Michel M, Gouteyron JF. 1997. [Equitest and high performance patients]. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 118: 307-310.
- Dickson RA. 1988. The aetiology of spinal deformities. *Lancet* 1: 1151-1155.
- Diener HC, Dichgans J. 1988. On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Prog Brain Res* 76: 253-262.
- Dietz V, Trippel M, Ibrahim IK, Berger W. 1993. Human stance on a sinusoidally translating platform: balance control by feedforward and feedback mechanisms. *Exp Brain Res* 93: 352-362.
- Driscoll DM, Newton RA, Lamb RL, Nogi J. 1984. A study of postural equilibrium in idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 4: 677-681.

- Dubousset, ed. 1986. Facteurs étiologiques de la scoliose idiopathique. In : CR Michel, J Dubousset (Eds) : La scoliose idiopathique. . Expansion Scientifique Française ed. Paris.
- Duval-Beaupère. 1993. La scoliose. Abstr. Pédiatr. 74: 29-36.
- Duval-Beaupere G. 1970. [Maturation indices in the surveillance of scoliosis]. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 56: 59-76.
- Duval-Beaupere G, Lamireau T. 1985. Scoliosis at less than 30 degrees. Properties of the evolutivity (risk of progression). Spine (Phila Pa 1976) 10: 421-424.
- Duval-Beaupere G, Dubousset J, Queneau P, Grossiord A. 1970. [A unique theory on the course of scoliosis]. Presse Med 78: 1141-1146 passim.
- El-Kahky AM, Kingma H, Dolmans M, de Jong I. 2000. Balance control near the limit of stability in various sensory conditions in healthy subjects and patients suffering from vertigo or balance disorders: impact of sensory input on balance control. Acta Otolaryngol 120: 508-516.
- Fitzpatrick R, McCloskey DI. 1994. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. J Physiol 478 (Pt 1): 173-186.
- Ford-Smith CD, Wyman JF, Elswick RK, Jr., Fernandez T, Newton RA. 1995. Test-retest reliability of the sensory organization test in noninstitutionalized older adults. Arch Phys Med Rehabil 76: 77-81.
- Ford DM, Bagnall KM, Clements CA, McFadden KD. 1988. Muscle spindles in the paraspinal musculature of patients with adolescent idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 13: 461-465.
- Ford DM, Bagnall KM, McFadden KD, Greenhill BJ, Raso VJ. 1984. Paraspinal muscle imbalance in adolescent idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 9: 373-376.
- Gage WH, Winter DA, Frank JS, Adkin AL. 2004. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. Gait Posture 19: 124-132.
- Gagey PM, Toupet M. 1991. Orthostatic postural control in vestibular neuritis: a stabilometric analysis. Ann Otol Rhinol Laryngol 100: 971-975.
- Gauchard GC, Lascombes P, Kuhnast M, Perrin PP. 2001. Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control. Spine (Phila Pa 1976) 26: 1052-1058.
- Gregoric M, Pecak F, Trontelj JV, Dimitrijevic MR. 1981. Postural control in scoliosis. A statokinesimetric study in patients with scoliosis due to neuromuscular disorders and in patients with idiopathic scoliosis. Acta Orthop Scand 52: 59-63.
- Guillaumat M. 2000. Scoliose idiopathique en période de croissance. Pages [4-007-B-020] in Elsevier, ed. Encyclopédie Médico-Chirurgicale. Paris.
- Harrington PR. 1962. Treatment of scoliosis. Correction and internal fixation by spine instrumentation. J Bone Joint Surg Am 44-A: 591-610.
- Hellstrom M, Jacobsson B, Sward L, Peterson L. 1990. Radiologic abnormalities of the thoracolumbar spine in athletes. Acta Radiol 31: 127-132.

Herdman SJ, Clendaniel RA, Mattox DE, Holliday MJ, Niparko JK. 1995. Vestibular adaptation exercises and recovery: acute stage after acoustic neuroma resection. *Otolaryngol Head Neck Surg* 113: 77-87.

Herman R, Mixon J, Fisher A, Maulucci R, Stuyck J. 1985. Idiopathic scoliosis and the central nervous system: a motor control problem. The Harrington lecture, 1983. Scoliosis Research Society. *Spine (Phila Pa 1976)* 10: 1-14.

Hoogmartens MJ, Basmajian JV. 1976. Postural tone in the deep spinal muscles of idiopathic scoliosis patients and their siblings. An etiologic study based on vibration-induced electromyogram. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 16: 93-114.

Horak FB, Nashner LM. 1986. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configurations. *J Neurophysiol* 55: 1369-1381.

Horak FB, Shupert CL, Mirka A. 1989. Components of postural dyscontrol in the elderly: a review. *Neurobiol Aging* 10: 727-738.

Jamet M, Deviterne D, Gauchard GC, Vancon G, Perrin PP. 2004. Higher visual dependency increases balance control perturbation during cognitive task fulfilment in elderly people. *Neurosci Lett* 359: 61-64.

Jensen GM, Wilson KB. 1979. Horizontal postrotatory nystagmus response in female subjects with adolescent idiopathic scoliosis. *Phys Ther* 59: 1226-1233.

Justice CM, Miller NH, Marosy B, Zhang J, Wilson AF. 2003. Familial idiopathic scoliosis: evidence of an X-linked susceptibility locus. *Spine (Phila Pa 1976)* 28: 589-594.

Kapteyn TS. 1973. Afterthought about the physics and mechanics of the postural sway. *Agressologie* 14: 27-35.

Keessen W, Crowe A, Hearn M. 1992. Proprioceptive accuracy in idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 17: 149-155.

Kindsfater K, Lowe T, Lawellin D, Weinstein D, Akmakjian J. 1994. Levels of platelet calmodulin for the prediction of progression and severity of adolescent idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am* 76: 1186-1192.

Kouwenhoven. 2007. The role of intrinsic Spinal Mechanisms in the Pathogenesis of Adolescent Idiopathic Scoliosis Utrecht.

Kouwenhoven JW, Vincken KL, Bartels LW, Castelein RM. 2006. Analysis of preexistent vertebral rotation in the normal spine. *Spine (Phila Pa 1976)* 31: 1467-1472.

Kouwenhoven JW, Smit TH, van der Veen AJ, Kingma I, van Dieen JH, Castelein RM. 2007a. Effects of dorsal versus ventral shear loads on the rotational stability of the thoracic spine: a biomechanical porcine and human cadaveric study. *Spine (Phila Pa 1976)* 32: 2545-2550.

Kouwenhoven JW, Bartels LW, Vincken KL, Viergever MA, Verbout AJ, Delhaas T, Castelein RM. 2007b. The relation between organ anatomy and pre-existent vertebral rotation in the normal spine: magnetic resonance imaging study in humans with situs inversus totalis. *Spine (Phila Pa 1976)* 32: 1123-1128.

- Lenke LG, Betz RR, Harms J, Bridwell KH, Clements DH, Lowe TG, Blanke K. 2001. Adolescent idiopathic scoliosis: a new classification to determine extent of spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 83-A: 1169-1181.
- Little DG, Song KM, Katz D, Herring JA. 2000. Relationship of peak height velocity to other maturity indicators in idiopathic scoliosis in girls. *J Bone Joint Surg Am* 82: 685-693.
- Loncar-Dusek M, Pecina M, Prebeg Z. 1991. A longitudinal study of growth velocity and development of secondary gender characteristics versus onset of idiopathic scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*: 278-282.
- Lonstein JE. 1994. Adolescent idiopathic scoliosis. *Lancet* 344: 1407-1412.
- Lowe T, Lawellin D, Smith D, Price C, Haheer T, Merola A, O'Brien M. 2002. Platelet calmodulin levels in adolescent idiopathic scoliosis: do the levels correlate with curve progression and severity? *Spine (Phila Pa 1976)* 27: 768-775.
- Luque ER. 1982. Segmental spinal instrumentation for correction of scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*: 192-198.
- Machida M, Dubousset J, Imamura Y, Iwaya T, Yamada T, Kimura J. 1993. An experimental study in chickens for the pathogenesis of idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 18: 1609-1615.
- Machida M, Dubousset J, Imamura Y, Iwaya T, Yamada T, Kimura J. 1995. Role of melatonin deficiency in the development of scoliosis in pinealectomised chickens. *J Bone Joint Surg Br* 77: 134-138.
- Machida M, Murai I, Miyashita Y, Dubousset J, Yamada T, Kimura J. 1999. Pathogenesis of idiopathic scoliosis. Experimental study in rats. *Spine (Phila Pa 1976)* 24: 1985-1989.
- Machida M, Saito M, Dubousset J, Yamada T, Kimura J, Shibasaki K. 2005. Pathological mechanism of idiopathic scoliosis: experimental scoliosis in pinealectomized rats. *Eur Spine J* 14: 843-848.
- Machida M, Dubousset J, Imamura Y, Iwaya T, Yamada T, Kimura J, Toriyama S. 1994. Pathogenesis of idiopathic scoliosis: SEPs in chicken with experimentally induced scoliosis and in patients with idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 14: 329-335.
- Machida M, Dubousset J, Satoh T, Murai I, Wood KB, Yamada T, Ryu J. 2001. Pathologic mechanism of experimental scoliosis in pinealectomized chickens. *Spine (Phila Pa 1976)* 26: E385-391.
- Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Pyykko I. 1990a. Significance of pressor input from the human feet in anterior-posterior postural control. The effect of hypothermia on vibration-induced body-sway. *Acta Otolaryngol* 110: 182-188.
- Magnusson M, Enbom H, Johansson R, Wiklund J. 1990b. Significance of pressor input from the human feet in lateral postural control. The effect of hypothermia on galvanically induced body-sway. *Acta Otolaryngol* 110: 321-327.
- Marsden CD, Merton PA, Morton HB. 1981. Human postural responses. *Brain* 104: 513-534.
- Massion J WMLA, 1996:1-18., ed. 1996. Posture and equilibrium London.

- Mellin G, Poussa M. 1992. Spinal mobility and posture in 8- to 16-year-old children. *J Orthop Res* 10: 211-216.
- Meyer C, Haumont T, Gauchard GC, Leheup B, Lascombes P, Perrin PP. 2007. The practice of physical and sporting activity in teenagers with idiopathic scoliosis is related to the curve type. *Scand J Med Sci Sports* 18: 751-755.
- Meyer C, Cammarata E, Haumont T, Deviterne D, Gauchard GC, Leheup B, Lascombes P, Perrin PP. 2006. Why do idiopathic scoliosis patients participate more in gymnastics? *Scand J Med Sci Sports* 16: 231-236.
- Meyer V. 1866. Die Mechanik der Skoliose. Ein Beitrag zur Lehre von den Missgestaltungen des Knochengestütes. *Virchows Arch*: 225-253.
- Miller NH, Justice CM, Marosy B, Doheny KF, Pugh E, Zhang J, Dietz HC, 3rd, Wilson AF. 2005. Identification of candidate regions for familial idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 30: 1181-1187.
- Morais T, Bernier M, Turcotte F. 1985. Age- and sex-specific prevalence of scoliosis and the value of school screening programs. *Am J Public Health* 75: 1377-1380.
- Moreau A, Wang DS, Forget S, Azeddine B, Angeloni D, Frascini F, Labelle H, Poitras B, Rivard CH, Grimard G. 2004. Melatonin signaling dysfunction in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)* 29: 1772-1781.
- Moreau A, et al. 2009. [Molecular and genetic aspects of idiopathic scoliosis. Blood test for idiopathic scoliosis]. *Orthopade* 38: 114-116, 118-121.
- Nash CL, Jr., Moe JH. 1969. A study of vertebral rotation. *J Bone Joint Surg Am* 51: 223-229.
- Nashner LM. 1985. *Strategies for organization of human posture*. . Basel.
- Nashner LM, Peters JF. 1990. Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurol Clin* 8: 331-349.
- Nicoladoni, ed. 1904. *Anatomie und Mechanismus der Skoliose* Stuttgart.
- O'Beirne J, Goldberg C, Dowling FE, Fogarty EE. 1989. Equilibrial dysfunction in scoliosis--cause or effect? *J Spinal Disord* 2: 184-189.
- Perdriolle R, Boffelli N, Ousset M. 1979. *La scoliose : son étude tridimensionnelle*. Paris: Maloine.
- Perrin P, Perrin C. 1996. [Sensory afferences and motor control of equilibrium using static and dynamic posture tests]. *Ann Otolaryngol Chir Cervicofac* 113: 133-146.
- Perrin P, Schneider D, Deviterne D, Perrot C, Constantinescu L. 1998. Training improves the adaptation to changing visual conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support. *Neurosci Lett* 245: 155-158.
- Perrin PP, Jeandel C, Perrin CA, Bene MC. 1997a. Influence of visual control, conduction, and central integration on static and dynamic balance in healthy older adults. *Gerontology* 43: 223-231.
- Perrin PP, Bene MC, Perrin CA, Durupt D. 1997b. Ankle trauma significantly impairs posture control--a study in basketball players and controls. *Int J Sports Med* 18: 387-392.

- Peterka RJ. 2002. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 88: 1097-1118.
- Petersen I, Sahlstrand T, Sellden U. 1979. Electroencephalographic investigation of patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 50: 283-293.
- Porter RW. 2001a. The pathogenesis of idiopathic scoliosis: uncoupled neuro-osseous growth? *Eur Spine J* 10: 473-481.
- Porter RW. 2001b. Can a short spinal cord produce scoliosis? *Eur Spine J* 10: 2-9.
- Poussa M, Harkonen H, Mellin G. 1989. Spinal mobility in adolescent girls with idiopathic scoliosis and in structurally normal controls. *Spine (Phila Pa 1976)* 14: 217-219.
- Pozzo T, Berthoz A, Lefort L. 1990. Head stabilization during various locomotor tasks in humans. I. Normal subjects. *Exp Brain Res* 82: 97-106.
- Prujjs JE, Hageman MA, Keessen W, van der Meer R, van Wieringen JC. 1994. Variation in Cobb angle measurements in scoliosis. *Skeletal Radiol* 23: 517-520.
- Risser JC. 1958. The Iliac apophysis; an invaluable sign in the management of scoliosis. *Clin Orthop* 11: 111-119.
- Robin GC. 1972. Scoliosis of spina bifida and infantile paraplegia. *Isr J Med Sci* 8: 1823-1829.
- Robin GC, Cohen T. 1975. Familial scoliosis. A clinical report. *J Bone Joint Surg Br* 57: 146-148.
- Sahlstrand T. 1980. An analysis of lateral predominance in adolescent idiopathic scoliosis with special reference to convexity of the curve. *Spine (Phila Pa 1976)* 5: 512-518.
- Sahlstrand T, Petruson B. 1979. A study of labyrinthine function in patients with adolescent idiopathic scoliosis. I. An electro-nystagmographic study. *Acta Orthop Scand* 50: 759-769.
- Sahlstrand T, Ortengren R, Nachemson A. 1978. Postural equilibrium in adolescent idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 49: 354-365.
- Sahlstrand T, Petruson B, Ortengren R. 1979. Vestibulospinal reflex activity in patients with adolescent idiopathic scoliosis. Postural effects during caloric labyrinthine stimulation recorded by stabilometry. *Acta Orthop Scand* 50: 275-281.
- Schultz A, Haderspeck K, Takashima S. 1981. Correction of scoliosis by muscle stimulation: biomechanical analyses. *Spine (Phila Pa 1976)* 6: 468-476.
- Schultz AB, Sorensen SE, Andersson GB. 1984. Measurement of spine morphology in children, ages 10-16. *Spine (Phila Pa 1976)* 9: 70-73.
- Simoneau M, Mercier P, Blouin J, Allard P, Teasdale N. 2006a. Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescents with idiopathic scoliosis. *BMC Neurosci* 7: 68.
- Simoneau M, Richer N, Mercier P, Allard P, Teasdale N. 2006b. Sensory deprivation and balance control in idiopathic scoliosis adolescent. *Exp Brain Res* 170: 576-582.
- Spaepen AJ, Vranken M, Willems EJ. 1978. [Comparison of the shifting of the centers of pressure and gravity in normal subjects and scoliotic patients]. *Agressologie* 19: 75-76.

- Tan KJ, Moe MM, Vaithinathan R, Wong HK. 2009. Curve progression in idiopathic scoliosis: follow-up study to skeletal maturity. *Spine (Phila Pa 1976)* 34: 697-700.
- Tanner JM. 1962. Growth at adolescence; with a general consideration of the effects of hereditary and environmental factors upon growth and maturation from birth to maturity. Springfield, Ill.
- Thillard MJ. 1959. [Vertebral column deformities following epiphysectomy in the chick.]. *C R Hebd Seances Acad Sci* 248: 1238-1240.
- Trontelj JV, Pecak F, Dimitrijevic MR. 1979. Segmental neurophysiological mechanisms in scoliosis. *J Bone Joint Surg Br* 61-B: 310-313.
- Tropp H, Odenrick P, Sandlund B, Odkvist LM. 1987. Stabilometry for studying postural control and compensation in vertigo of central and peripheral origin. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 27: 77-82.
- van Parys JA, Njiokiktjien CJ. 1976. Romberg's sign expressed in a quotient. *Agressologie* 17 SPECNO: 95-99.
- Weinstein SL, Dolan LA, Cheng JC, Danielsson A, Morcuende JA. 2008. Adolescent idiopathic scoliosis. *Lancet* 371: 1527-1537.
- Wiener-Vacher SR, Mazda K, eds. 1998. Asymmetric otolith vestibulo-ocular responses in children with idiopathic scoliosis. 1998/06/17 ed.
- Willner S. 1974. A study of growth in girls with adolescent idiopathic structural scoliosis. *Clin Orthop Relat Res*: 129-135.
- Willner S. 1984. Development of trunk asymmetries and structural scoliosis in prepuberal school children in Malmo: follow-up study of children 10-14 years of age. *J Pediatr Orthop* 4: 452-455.
- Winter DA, Patla AE, Prince F, Ishac M, Gielo-Perczak K. 1998. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 80: 1211-1221.
- Wolfson LI, Whipple R, Amerman P, Kleinberg A. 1986. Stressing the postural response. A quantitative method for testing balance. *J Am Geriatr Soc* 34: 845-850.
- Wrisley DM, Stephens MJ, Mosley S, Wojnowski A, Duffy J, Burkard R. 2007. Learning effects of repetitive administrations of the sensory organization test in healthy young adults. *Arch Phys Med Rehabil* 88: 1049-1054.
- Wynne-Davies R. 1968. Familial (idiopathic) scoliosis. A family survey. *J Bone Joint Surg Br* 50: 24-30.
- Yamamoto H. 1982. An evaluation of brainstem function as a prognostication of early idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 2: 521-528.
- Yamamoto H, Tani T, MacEwen GD, Herman R. 1982. An evaluation of brainstem function as a prognostication of early idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 2: 521-528.
- Yarom R, Robin GC. 1979. Muscle pathology in idiopathic scoliosis. *Isr J Med Sci* 15: 917-924.

Yekutiel M, Robin GC, Yarom R. 1981. Proprioceptive function in children with adolescent idiopathic scoliosis. Spine (Phila Pa 1976) 6: 560-566.

Yong F, Wong HK, Chow KY. 2009. Prevalence of adolescent idiopathic scoliosis among female school children in Singapore. Ann Acad Med Singapore 38: 1056-1063.

Annexes

Annexe 1 : Manuscrit accepté pour publication dans la revue Spine

Annexe 2 : Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2006)

Annexe 3 : Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2007)

Annexe 4 : Communications à des congrès scientifiques

Annexe 5 : Prix

Annexe 6 : Participation à ouvrage scientifique

Annexe 7 : Table des illustrations

Postural instability in early-stage idiopathic scoliosis in adolescent girls

Thierry Haumont, MD^{1,2,3,4}, G erome C. Gauchard, PhD^{1,4}, Pierre Lascombes, MD^{2,3}, Philippe P. Perrin, MD, PhD^{1,4,5}

¹ Balance Control & Motor Performance, Nancy-University, UFR STAPS, Villers-l es-Nancy, France

² Department of Pediatric Orthopedic Surgery, University Hospital of Nancy, Children Hospital, Vandoeuvre-l es-Nancy, France

³ Department of Anatomy, Faculty of Medicine, Vandoeuvre-l es-Nancy, France

⁴ INSERM U 954, Faculty of Medicine, Vandoeuvre-l es-Nancy, France

⁵ Department of Oto-Rhino-Laryngology, University Hospital of Nancy, Children Hospital, Vandoeuvre-l es-Nancy, France

Correspondence to Prof. Philippe P. Perrin, Equilibration et Performance Motrice, UFR STAPS, Nancy Université, Université Henri Poincaré, 30, rue du Jardin Botanique, 54 600 Villers-l es-Nancy, France - Fax : +33 3 83902842 - E-mail : philippe.perrin@staps.uhp-nancy.fr

Acknowledgments

This study was supported by a grant from the “Fondation Yves Cotrel”, Institut de France, Académie des Sciences, Paris.

Ethics Committee

Comité de Protection des Personnes de Lorraine

Key points

- Adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is associated with an alteration of the different levels of postural control.
- Few studies have examined AIS with mild deformation just at the time of the diagnosis.
- Even patients with mild spine deformation less than 25° present balance disturbances, both in simple postural tasks and in more complex postural tasks such as sensory conflict and dynamic situations.
- These patients find it harder to select reliable information for controlling balance, reflecting a loss of efficiency in central information processing.

Mini-abstract / Précis

Sixty-five patients with AIS underwent posturographic evaluation at the time of diagnosis by way of static and dynamic tests with and without sensory conflicts. Even with a mild spine deformation of less than 25°, reduced postural performance could be shown, especially in sensory conflict situations.

Abstract

Study design. Cross-sectional study.

Objectives. To evaluate whether the amplitude of spine deformation in adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is an important factor for postural control at disease onset.

Summary of background data. AIS is related to disorders of postural control with potential involvement of vestibular, proprioceptive and visual input. So far **no** assessment of postural control **has been done** in an AIS population at the onset of spine deformation.

Methods. Sixty-five female patients with AIS (mean age: 11.4 ± 2.3 years) were clinically and radiologically assessed at the time of diagnosis and evaluated in posturography, including static tests – with and without sensory conflict – and dynamic tests. Two groups were formed according to the mean Cobb angle of the primary curve.

Results. The mean Cobb angle was $14.8 \pm 5.1^\circ$; 35 patients were included in group I with a Cobb angle of 5 to 14° , and 30 patients into group II with a Cobb angle of 15 to 25° . The latter group displayed higher body sways in static tests, characterized by a larger area covered by center of foot pressure in both eyes open and eyes closed conditions, and by higher lateral oscillations in only the eyes closed condition. Group II patients displayed poorer balance control, mainly in visual and somatosensory conflict conditions. Group II patients used fewer anticipatory strategies to stabilize body oscillations than Group I patients, especially in the more challenging sensory conflict and dynamic situations.

Conclusions. Poorer postural performance, especially in sensory conflict situations, observed in patients with a Cobb angle greater or equal to 15° , reflect less effective central information processing.

Key words. Idiopathic scoliosis; Postural control; Cobb angle; Early screening; Posturography

Introduction

The aetiology of adolescent idiopathic scoliosis (AIS) is still unclear and probably multifactorial.¹ Clinically, AIS is the most common form of scoliosis and affects girls more than boys.^{2,3} AIS is a three-dimensional spinal deformation without osteo-ligamentary discontinuity and develops on all or part of the vertebral column. It develops mainly during pubertal growth,^{4,5} leading to balance dysfunctions, particularly when the amplitude of the curves is progressing.⁶⁻⁸

Accurate balance control requires the efficient central processing of sensory information provided by visual, vestibular and somesthetic input. This processing is necessary to generate the appropriate motor responses, including compensatory eye movements (ocular reflexes of vestibular and visual origins) and body adjustment (vestibulospinal reflexes).⁹⁻¹³ AIS-related postural disorders are of multiple origins, and involvement has been described at each level of balance regulation, sensory input, central integration or motor output. Several studies have shown hyposensitivity and asymmetry both in semi-circular canals^{6,14,15} and gravity-sensitive otoliths of the vestibulum.¹⁶ Disorders in smooth visual pursuit and in vestibular-induced nystagmus are associated with AIS, as are disturbed vestibulo-ocular reflex and spontaneous occurrence of nystagmus.^{6,17} Proprioceptive sensitivity is also altered in AIS¹⁸⁻²¹ and could be a causative factor of spinal asymmetry.²² A defect in processing by the central nervous system, especially at brainstem level, can be correlated with AIS,^{6,23,24} and a recalibration of the internal representation of the body in space may be associated with AIS.¹⁵ At motor level, AIS is correlated with muscular disorders, particularly affecting paraspinal muscles.^{25,26} Nevertheless, none of these AIS-related postural deficits seem to prevent patients engaging in physical and sporting activities.^{27,28}

The Cobb method,²⁹ considered as the standard for measuring curve size, is commonly used to evaluate radiographically any deformation of the spine. AIS screening is mainly based on detecting a 3D deformation of the spine, which leads to a gibbosity when the child is bending forward. The Cobb method consists of selecting the vertebrae with the greatest amount of tilt of the vertebrae at the top and bottom of the curve. Lines are drawn perpendicular to the plates of the end-vertebrae, and the angle formed at the intersection of these lines is the Cobb angle. It is not possible to make an AIS diagnosis based solely on the presence of a rib hump: this is at best a warning sign requiring further investigation.³⁰ Most studies on the repercussions of AIS on physical functions have focused on progressive

scoliosis, when severity was already substantial, and they are often performed just before surgery or non-operative treatment.⁸ To our knowledge no study has been done at the onset of AIS. The aim of the present study was to demonstrate if, in early-stage AIS, there is a significant difference in balance control in two cohorts of children with mild and very mild spine deformation.

Materials and Methods

Participants

Sixty-five female children and teenagers (mean age: 11.4 ± 2.3 years) agreed to participate in this cross-sectional posturographic study. All patients were recruited when they first came to the clinics for AIS screening. The Medical Ethics Committee (Comité de Protection des Personnes, CPP) approved the study, and both the parents and children both gave their written informed consent prior to the study. The same orthopaedic surgeon evaluated all X-rays to measure the Cobb angle of each patient's spinal curve. Likewise all clinical evaluations, including age, gender, height, weight, body mass index and curve type (thoracic, thoracolumbar, lumbar and double major), were performed by the same physiotherapist. The orthopaedic surgeon and physiotherapist were blinded to balance testing.

In this sample, the mean Cobb angle of the primary curve was $14.8^\circ \pm 5.1^\circ$. Patients were split into two groups: group I (n=35) presented a Cobb angle of between 5° and 14° , group II (n=30) between 15° and 25° (see Table 1 for participant characteristics).

Posturography

General principles

The method sought to evaluate two modalities of postural regulation, i.e. during quiet stance and during movement, and their related neurosensory organisation.¹³ Thus, postural control during quiet stance was evaluated with and without sensory conflict by a static posturographic test and by a sensory organization test (SOT), while postural control during movement was evaluated by a dynamic posturographic test with slow sinusoidal oscillations of the platform.

The static and dynamic posturographic recordings were performed in a laboratory approved for biomedical research (Health Ministry approval) using a force platform, fitted

with four strain gauges (Toennies GmbH, Freiburg, Germany) mounted symmetrically on a supporting platform. SOT was performed on an EquiTest® computerised dynamic posturography platform (Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA). EquiTest® uses a dual platform which consists of two footplates connected by a pin joint; the two footplates are supported by four force transducers (strain gauges) mounted symmetrically on a supporting centre plate. A fifth force transducer is bracketed to the centre plate directly beneath the pin joint.

For each test, the subjects were requested to stand upright and barefoot at mark level on the support surface to control stance width, keeping as still as possible, breathing normally, and with their arms at their sides, and were instructed to look straight ahead at a white dot located at eye level two meters away (Toennies) or at a picture located on the visual surround (EquiTest®). To prevent anyone falling, an operator stood within reaching distance of the participant and all wore in all test conditions a safety harness connected to the ceiling by two suspension straps. All posturographic tests were performed just after the AIS diagnosis and assessment was done by the same technician, who was blinded to clinical screening, i.e. to determination of spine deformation amplitude.

If they are to serve their purpose, all balance measuring tools must be scientifically sound in terms of three basic psychometric properties: reliability, responsiveness (sensitivity to change), and predictive validity.³¹ In terms of reliability, some studies have shown that no significant test-retest effect could be observed during static posturographic tests in quiet stance^{32,33} or dynamic tests.³⁴ Besides, most of the equilibrium scores on SOT present fair to good reliability.^{31,35,36} On the other hand, the results of intra- and long-term inter-session reliability of SOT measures showed a significant learning effect for the most sensitized conditions; this might limit clinical application during rehabilitation in everyday practice.^{35,37} Nevertheless, SOT has been recognized as a reliable tool, especially when it is done once for each participant, as in the present study.³⁸ Furthermore, the composite equilibrium score showed acceptable responsiveness³¹ and, in terms of predictive validity, some equilibrium scores presented good correlations with daily living activities or falls some months after posturographic evaluation.^{31,39}

Static posturographic test

The static posturographic test consisted of a 20-second recording of centre of foot pressure displacements in eyes open (EO) then in eyes closed (EC) conditions. Statokinesigrams were obtained, representing the sway path travelled (SP) and the area covered by the centre of foot pressure. Good postural control is mainly indicated by low values for SP and area parameters, the latter expressing the precision of postural control. The data resulting from the EO and EC tests are used to calculate of the Romberg's quotients (RQ) (RQ_{SP} : EC / EO sway path ratio, RQ_{Area} : EC / EO area ratio), which determine the way visual information contributes to balance control. Sways in the anterior–posterior (AP) and lateral (Lat) axes were determined by vectorial analysis.⁴⁰⁻⁴³

Sensory Organization Test

SOT evaluates the patient's ability to make effective use of visual, vestibular and somatosensory inputs together or separately, and to suppress any inappropriate sensory information. To give deliberately inadequate information, somatosensory and visual cues are disrupted by using a technique commonly referred to as sway-referenced, which involves tilting the support surface and/or the visual surround to directly follow the anterior-posterior sways of the subject's centre of gravity. The subject's task is to maintain an upright stance with as little postural sway as possible during the three 20-second trials in six conditions that combine three visual conditions [eyes open (EO), eyes closed (EC) and sway-referenced visual surround motion (SM)] with two platform conditions [stable (S), sway-referenced platform motion (PM)]. The different combinations of cues are: EO/S (C1), EC/S (C2), SM/S (C3), EO/PM (C4), EC/PM (C5), SM/PM (C6). Equilibrium scores (ES) were calculated for each condition: averaged ES of the three trials were $C1^{ES}$ in condition 1, $C2^{ES}$ in condition 2, $C3^{ES}$ in condition 3, $C4^{ES}$ in condition 4, $C5^{ES}$ in condition 5, and $C6^{ES}$ in condition 6. A composite equilibrium score (C^{ES}) was calculated to score overall balance performance (Figure 1a). Each ES was additionally adjusted to $C1^{ES}$ to give a ratio expressing the significance of each sensory system which influences postural control. This makes it possible to determine the use of somesthetic (R^{SOM}), visual (R^{VIS}) and vestibular (R^{VEST}) information, the reliance on vision – even if inadequate (R^{PREF}) – and the ability to manage altered proprioceptive inputs (R^{PMAN}) (Table 2 and Figure 1b).⁴⁴⁻⁴⁷

SOT strategy scores were calculated to show the extent to which a patient uses ankle or hip movements to maintain equilibrium. A strategy score is derived from the fifth load cell in the platform which is mounted in the centre (under the X axis) and responds to horizontal shear forces. When centre of gravity sway results only from the body rotating as a rigid mass around the ankle joints, there are no horizontal forces exerted along the Y axis against the support surface. By contrast, hip movements generate horizontal forces against the support surface that are proportional to the second derivative (angular acceleration) of the hip joint angle. During hip movement, the vertical force position changes only when this joint causes changes in the centre of gravity sway angle.⁴⁸ Exclusive use of ankle strategy to maintain equilibrium gave a score of 100. Exclusive use of hip strategy yielded a score close to 0 (Figure 1c). The strategy scores (SS) between these two extremes represented a combination of the two strategies and were calculated for each condition (C1^{SS}, C2^{SS}, C3^{SS}, C4^{SS}, C5^{SS}, C6^{SS}).

Dynamic posturographic test

The dynamic posturographic test (Toennies system) consisted of a slow sinusoidal anterior-posterior oscillating movement imposed by the platform (EO and EC conditions, 0.5 Hz frequency, 4° amplitude, 20s). By determining the frequencies and amplitudes of the different response peaks, it is possible to split recordings into two types of sensorimotor strategy (a) *type 1*, representing anticipatory postural adjustments and (b) *type 2*, representing reactional postural adjustments. Taking a step was interpreted as loss of balance.⁴⁹⁻⁵¹

Statistical analysis

Independent sample t-testing was used to compare static posturographic and SOT parameters between the two groups, as well as the age, height, weight and BMI parameters described in the method section. The Yates corrected χ^2 or Fisher's exact tests (depending on the test application conditions, distribution comparison) were used to compare sensorimotor strategy quality in the dynamic posturographic test, and the curve parameters described in the method section. Statistically significant differences were accepted for a probability level of $P \leq 0.05$, and borderline significance was defined as a probability level of $P \leq 0.10$.

Results

Data on age, height, weight, body mass index and curve type for both groups are set out in Table 1. No significant difference between both groups was found for any of these parameters.

In the static tests, Group II patients recorded higher values than Group I patients for the area parameter in both EO and EC conditions than Group I patients (EO: 0.86 ± 1.15 cm²/s vs. 0.37 ± 0.44 cm²/s, as against $t = -2.34$, $P = 0.023$; EC: 1.13 ± 1.28 cm²/s vs. 0.56 ± 0.52 cm²/s, as against $t = -2.40$, $P = 0.020$), and for the lateral sways parameter only in EC condition (0.13 ± 0.07 cm/s vs. 0.10 ± 0.05 cm/s, as against $t = -2.05$, $P = 0.044$). On the other hand, no statistical significant difference was observed between the two groups for SP and AP sway in EO and EC conditions, or for lateral sway in EO condition and for RQ.

In SOT, Group II patients displayed weaker balance control (C^{ES}) compared to Group I patients, mainly because of C2 and of sensory conflict conditions (C4, C5 and C6) (Figure 2A). Moreover, R^{VIS} , R^{VEST} and R^{PMAN} were lower in Group II patients than in Group I patients (Figure 2B). No statistically significant difference was observed between the two groups for $C1^{ES}$ and $C3^{ES}$, or for R^{SOM} and R^{PREF} . For strategy scores, $C6^{SS}$ was statistically significantly better in Group I (84.53 ± 3.22 %) than in Group II (81.57 ± 5.89 %) ($t = 2.56$, $P = 0.013$).

For the dynamic test results (Table 3), no fall was observed in EO condition and type 1 strategy dominated in both groups, but Group II patients had significantly more type 2 strategy. In the EC condition, type 2 strategy was most common in both groups, albeit significantly more common in Group II patients. 10 % of Group II patients showed some fall, as against none in Group I.

Discussion

This study, designed to evaluate postural control at rest, with and without sensory conflict, and during platform movement, has shown that patients with greater Cobb angles exhibited more postural instability. These were the patients who, in quiet stance position, presented larger body sway area, reflecting less precise postural control, associated with higher oscillations in the medio-lateral plane. Moreover, in sensory conflict situations, they found it harder to keep their balance, especially in more complex postural situations. Thus, when the

platform was in sinusoidal movement, these patients found it harder to adapt their balance control to the stimulation. Falls in EC conditions and use of type 2 strategy, in both EO and EC conditions, occurred significantly more often in this group, reflecting a tendency to use reactionary strategies rather than anticipatory strategies.

Some study limitations might be considered. First, the sample size is relatively low. Second, the study did not consider participation in organized athletic activities as a factor. However, engaging in certain athletic activities is known to have beneficial effects on postural control. Here, no patient was exempted from school sports activities run under a national program, and no patient was barred from additional sporting activities. No information is available on additional sporting activities outside the school. On the other hand, no patient was involved in intensive sporting activities.

Conventionally, balance during quiet stance is compared to an inverted pendulum model.⁵² The way balance is regulated and adapted to the environment is based on postural tone and postural reflexes, which are triggered by vestibular, visual and somatosensory inputs and involve higher levels of control.¹³ Nevertheless, somatosensory and visual inputs are sufficient for postural regulation during quiet stance,⁵³ the sway-related accelerations being below the thresholds of the vestibular organ.^{54,55} In this study, patients with a greater Cobb angle scored higher for area parameter, reflecting lower precision for balance control, mainly expressed by increased lateral sways. This result accords with the Simoneau et al.¹⁹ and Chen et al.⁵⁶ studies, which have shown an increase in sway area and lateral sways in AIS patients. On the other hand, we observed no difference for AP sway, unlike the Chen study, but the Chen study compared AIS patients with higher curvature (from 22° to 67°) and healthy controls. Moreover, when sensory context changes, a switch between the sensory information is weighted according to the resulting balance difficulties, and the gain in the different afferent-postural loops is modified.^{57,58} In these studies, the eye closure led to higher input from the other afferences in balance regulation, i.e. vestibular and somatokinesthetic information. Indeed, the fact that a difference in lateral sway was only observed in EC could be explained by lower utilization of vestibular input and proprioception. Further, a biomechanical explanation could come into play, whereby imbalance induced by the body mass centre shifting due to the scoliotic spine, however mild, is more marked. This leads the patients to make a bigger effort to maintain posture⁵⁶ and makes sway control more difficult, especially in the medio-lateral plane.

Where postural situations are more complex, i.e. in quiet stance situations with sensory conflicts and in dynamic situations, AIS patients with a greater Cobb angle show reduced postural abilities and run a greater risk of falling. In sensory conflict situations, i.e. where a minimum of information is available or valid, a switch between the forms of the sensory information is necessary for proper balance by modifying the gain in the different afferent-postural loops that reflect accurate central information processing. In this study, patients with Cobb angles greater than 15° found it harder to manage balance during more challenging situations. Indeed, proprioceptive information disturbances made it increasingly difficult to manage balance, particularly when coupled to visual disturbances. It follows that management of altered proprioceptive information is less efficient in patients with more pronounced spine deformation, with disrupted proprioception hindering the use of appropriate postural mechanisms. To sum up, patients with greater scoliosis find it harder to manage sensory conflict, highlighting less efficient central information processing related to postural control.⁶ This difficulty in organizing balance control in a way that is perfectly adapted to situations leads to the use of postural strategies based more on the hip than on the ankle joint. Indeed, as using proprioceptive information becomes more difficult, the central nervous system has to rely on other information, i.e. vestibular and visual. This increased weighting of head sensory cues leads to an inversion of muscular activation sequences with a less appropriate top-down strategy, characterised by more hip joint input, as opposed to a more stable bottom-up strategy based on the ankle joint (inverted pendulum).¹⁰ These results should be considered in conjunction with the results of dynamic posturographic tests, which show that patients with greater spine deformation tended to fall more and used more reactionary than anticipatory strategies. Traditionally, good performances in dynamic posturographic tests are conveyed by the use of an anticipatory strategy, involving the ankle joint more than the hip joint.^{8,10} The mechanisms related to the planning and programming of postural responses lead to reactionary postural adjustments being favoured over anticipatory postural adjustments. This strategy reflects the increased difficulty for patients with bigger curves to devise postural strategies from movement-related parameters. It follows that AIS may represent a specific impairment of higher cortical function, as suggested by Machida.⁵⁹

In conclusion, this posturographic study showed poorer postural performance in the AIS group with larger spine deformation, although the Cobb angle was less than 25°. This was demonstrated by way of simple posturographic tasks with an unsophisticated force platform, such as quiet stance, and – with a greater degree of precision – by way of more

complex tasks with sensory conflict situations or dynamic tasks. The dynamic tasks highlight loss of efficiency in central information processing, especially for proprioceptive information. A prospective study is now required to seek posturographic parameters which could be used to predict just at the onset of AIS how the deformation will progress.

References

1. Kouwenhoven JWM, Castelein RM. The pathogenesis of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 2008;33:2898-908.
2. Schultz AB, Sørensen SE, Andersson GBJ. Measurements of spine morphology in children, ages 10-16. *Spine* 1984;9:70-3.
3. Mellin G, Poussa M. Spinal mobility and posture in 8- to 16-year-old children. *J Orthop Res* 1992;10:211-6.
4. Dickson RA. The aetiology of spinal deformities. *Lancet* 1988;331:1151-5.
5. Duval-Beaupère G. Pathogenic relationship between scoliosis and growth. *Orthop Clin North Am* 1988;19:58-64.
6. Yamamoto H, Tani T, MacEwen GD, et al. An evaluation of brainstem function as a prognostication of early idiopathic scoliosis. *J Paediatr Orthop* 1982;2:521-7.
7. O'Beirne J, Goldberg C, Dowling FE, et al. Equilibrial dysfunction in scoliosis - Cause or Effect? *J Spinal Disord* 1989;2:184-9.
8. Gauchard GC, Lascombes P, Kuhnast M, et al. Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control. *Spine* 2001;26:1052-8.
9. Nashner LM. Adapting reflexes controlling the human posture. *Exp Brain Res* 1976;26:59-72.
10. Horak FN, Nashner LM. Central programming of postural movements: adaptation to altered support-surface configuration. *J Neurophysiol* 1986;55:1369-81.
11. Waespe W, Henn V. Gaze stabilization in the primate. The interaction of the vestibulo-ocular reflex, optokinetic nystagmus, and smooth pursuit. *Rev Physiol Biochem Pharmacol* 1987;106:37-125.
12. Horstmann GA, Dietz V. The contribution of vestibular input to the stabilization of human posture: a new experimental approach. *Neurosci Lett* 1988;95:179-84.
13. Massion J, Woollacott MH. Posture and equilibrium. In: Bronstein AM, Brandt T, Woollacott M, eds. *Balance, Posture and Gait*. London: Arnold, 1996:1-18.
14. Sahlstrand T, Petruson B, Ortengren R. Vestibular reflex activity in patients with adolescent idiopathic scoliosis: postural effects during caloric labyrinthine stimulation recorded by stabilometry. *Acta Orthop Scand* 1979;50:275-81.
15. Herman R, Mixon J, Fisher A, et al. Idiopathic scoliosis and the central nervous system: a motor control problem. *Spine* 1984;10:1-14.

16. Wiener-Vacher SR, Mazda K. Asymmetric otolith vestibulo-ocular responses in children with idiopathic scoliosis. *J Pediatr* 1998;132:1028-32.
17. Sahlstrand T, Petruson B. A study of labyrinthine function in patients with adolescent idiopathic scoliosis; 1: an electronystagmographic study. *Acta Orthop Scand* 1979;50:759-69.
18. Yekutieli M, Robin GC, Yarom R. Proprioceptive function in children with adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 1981;6:560-6.
19. Barrack RL, Whitecloud TS, Burke SW, et al. Proprioception in idiopathic scoliosis. *Spine* 1984;9:681-5.
20. Simoneau M, Richer N, Mercier P, Allard P, Teasdale N. Sensory deprivation and balance control in idiopathic scoliosis adolescent. *Exp Brain Res* 2006;170:576-82.
21. Simoneau M, Mercier P, Blouin J, et al. Altered sensory-weighting mechanisms is observed in adolescent with idiopathic scoliosis. *BMC Neuroscience* 2006;7:68.
22. Keessen W, Crowe A, Hearn M. Proprioceptive accuracy in idiopathic scoliosis. *Spine* 1992;17:149-55.
23. Petersen I, Sahlstrand T, Sellden U. Electroencephalographic investigation of patients with adolescent idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 1979;50:283-93.
24. Lowe TG, Edgar M, Margulies JY, et al. Etiology of idiopathic scoliosis: current trends in research. *J Bone Joint Surg Am* 2000;82A:1157-68.
25. Ford DM, Bagnall KM, McFadden KD, et al. Paraspinal muscle imbalance in adolescent idiopathic scoliosis. *Spine* 1984;9:373-6.
26. Zetterberg C, Björk R, Ortengren R, et al. Electromyography of the paravertebral muscles in idiopathic scoliosis. *Acta Orthop Scand* 1984;55:304-9.
27. Meyer C, Cammarata E, Haumont T, et al. Why do idiopathic scoliosis patients participate more in gymnastics? *Scand J Med Sci Sports* 2006;16:231-6.
28. Meyer C, Haumont T, Gauchard GC, et al. The practice of physical and sporting activity in teenagers with idiopathic scoliosis is related to the curve type. *Scand J Med Sci Sports* 2008;18:751-5.
29. Cobb JR. Outline for the study of scoliosis. *Instr Course Lect* 1948;5:261-75
30. Morais T, Bernier M, Turcotte F. Age- and sex-specific prevalence of scoliosis and the value of school screening programs. *Am J Public Health* 1985;75:1377-80.
31. Chien CW, Hu MH, Tang PF, et al. A comparison of psychometric properties of the Smart Balance Master System and the Postural Assessment Scale for Stroke in people who have had mild stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:374-80.

32. Jamet M, Deviterne D, Gauchard GC, et al. Higher visual dependency increases balance control perturbation during cognitive task fulfilment in elderly people. *Neurosci Lett* 2004;359:61-4.
33. Deviterne D, Gauchard GC, Jamet M, et al. Added cognitive load through rotary auditory stimulation can improve the quality of postural control in the elderly. *Brain Res Bull* 2005;64:487-92.
34. Perrin PhP, Schneider D, Deviterne D, et al. Training improves the adaptation to changing visual conditions in maintaining human posture control in a test of sinusoidal oscillation of the support. *Neurosci Lett* 1998;245 :145-8.
35. Wrisley DM, Stephens MJ, Mosley S, et al. Learning effects of repetitive administrations of the Sensory Organization Test in healthy young adults. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:1049-54.
36. Ford-Smith CD, Wyman JF, Elswick RK Jr, et al. Test-retest reliability of the Sensory Organization Test in non-institutionalized older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 1995;76:77-81.
37. Leitner C, Mair P, Paul B, et al. Reliability of posturographic measurements in the assessment of impaired sensorimotor function in chronic low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2007;19:380-90.
38. Diard JP, Aubin F, May D, et al. Equitest et sujets de hautes performances. *Rev Laryngol Otol Rhinol (Bord)* 1997;118:307-10.
39. Buatois S, Guéguen R, Gauchard GC, et al. Posturography and risk of recurrent falls in healthy non-institutionalized persons aged over 65. *Gerontology* 2006;52:345-52.
40. Van Parys JAP, Njiokiktjien ChJ. Romberg's sign expressed in a quotient. *Agressologie* 1976;17:95-100.
41. Perrin PP, Gauchard GC, Perrot C, et al. Effects of physical and sporting activities on balance control of elderly people. *Br J Sports Med* 1999;33:121-6.
42. Gauchard GC, Gangloff P, Jeandel C, et al. Influence of regular proprioceptive and bioenergetic physical activities on balance control in elderly women. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2003;58:M846-50.
43. Gauchard GC, Deviterne D, Leheup B, et al. Effect of age of TSH Normalisation on postural control in children with congenital hypothyroidism. *Dev Med Child Neurol* 2004;46:107-13.
44. Nashner LM, Peters JF. Dynamic posturography in the diagnosis and management of dizziness and balance disorders. *Neurol Clin* 1990;8:331-49.

45. Black FO, Paloski WH, Doxey-Gasway DD, et al. Vestibular plasticity following orbital spaceflight: recovery from postflight postural instability. *Acta Otolaryngol Suppl* 1995;520:450-54.
46. Herdman SJ, Clendaniel RA, Mattox DE, et al. Vestibular adaptation exercises and recovery: acute stage after acoustic neuroma resection. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995;113:77-87.
47. Colnat-Coulbois S, Gauchard GC, Maillard L, et al. Bilateral subthalamic nucleus stimulation improves balance control in Parkinson's disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2005;76:780-7.
48. Speers RA, Shepard NT, Kuo AD. EquiTest modification with shank and hip angle measurements: differences with age among normal subjects. *J Vest Res* 1999;9:435-44.
49. Diener HC, Dichgans J. On the role of vestibular, visual and somatosensory information for dynamic postural control in humans. *Prog Brain Res* 1988;76:253-62.
50. Gauchard GC, Jeandel C, Tessier A, et al. Beneficial effect of proprioceptive physical activities on balance control in elderly human subjects. *Neurosci Lett* 1999;273:81-4.
51. Perrin PP, Deviterne D, Hugel F, et al. Judo, better than dance, develops sensorimotor adaptabilities involved in balance control. *Gait Posture* 2002;15:187-94.
52. Gage WH, Winter DA, Franck JS, et al. Kinematic and kinetic validity of the inverted pendulum model in quiet standing. *Gait Posture* 2004;19:124-32.
53. Winter DA, Patla AE, Prince F, et al. Stiffness control of balance in quiet standing. *J Neurophysiol* 1998;80:1211-21.
54. Benson AJ, Spencer MB, Scott JR. Thresholds for detection of the direction of whole body linear movement in the horizontal plane. *Aviat Space Environ Med* 1986;57:1088-96.
55. Fitzpatrick R, McCloskey DI. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *J Physiol (Lond)* 1994;478:173-86.
56. Chen P-Q, Wang J-L, Tsuang Y-H, et al. The postural stability control and gait pattern of idiopathic scoliosis adolescents. *Clin Biomech* 1998;13:S52-8.
57. Marsden CD, Merton PA, Morton HB. Human postural responses. *Brain* 1981;104:513-34.
58. Peterka RJ. Sensorimotor integration in human postural control. *J Neurophysiol* 2002;88:1097-102.
59. Machida M, Dubousset J, Imamura Y, et al. Pathogenesis of idiopathic scoliosis : SEPs in chicken with experimentally induced scoliosis and in patients with idiopathic scoliosis. *J Pediatr Orthop* 1994;14:329-35.

Table 1. Characteristics of the participants: Mean results \pm standard deviation (sd) of age, height, weight, body mass index (BMI), and curve type of idiopathic scoliosis for the two groups of patients (Group I: Cobb angle from 5° to 14°; Group II: Cobb angle from 15° to 25°). n° = number of patients in each type of curve type (TS: Thoracic curve scoliosis; TLS: Thoraco-lumbar curve scoliosis; LS: lumbar curve scoliosis; DMS: Double major curve scoliosis). *NS*: not significant.

		Group I, n = 35	Group II, n = 30	Intergroup comparison
		mean \pm sd	mean \pm sd	
Age (years)		11.7 \pm 2.3	11.1 \pm 2.3	$t = 1.06, NS$
Height (m)		1.50 \pm 0.09	1.51 \pm 0.14	$t = -0.12, NS$
Weight (kg)		38.5 \pm 7.1	38.6 \pm 8.7	$t = -0.06, NS$
BMI (kg/m ²)		16.9 \pm 1.7	16.8 \pm 2.2	$t = -0.06, NS$
Curve type	TS (n°)	1	2	$\chi^2 = 3.36, NS$
	TLS (n°)	10	4	
	LS (n°)	10	7	
	DMS (n°)	14	17	

Table 2. Sensory organisation test (EquiTest®, Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA): determination of the 6 conditions and significance of sensory ratios (according to Nashner & Peters, 1990; Black *et al.*, 1995; Herdman *et al.*, 1995); SR: sway-referenced.

Sensory Organisation Test			
Conditions			
<i>Name</i>	<i>Situation</i>	<i>Available cues</i>	<i>Unavailable or altered cues</i>
Condition 1 (C1)	Eyes open, fixed support	Vision, vestibular, somatosensory	---
Condition 2 (C2)	Eyes closed, fixed support	Vestibular, somatosensory	No vision
Condition 3 (C3)	SR surround, fixed support	Vestibular, somatosensory	Vision altered
Condition 4 (C4)	Eyes open, SR support	Vision, vestibular	Somatosensory altered
Condition 5 (C5)	Eyes closed, SR support	Vestibular	No vision, somatosensory altered
Condition 6 (C6)	SR surround, SR support	Vestibular	Vision altered, somatosensory altered
Ratios			
<i>Name</i>	<i>Pair</i>	<i>Significance</i>	
Somatosensory (R^{SOM})	C2 / C1	Question:	Does sway increase when visual cues are removed?
		Low scores:	Poor use of somatosensory references.
Visual (R^{VIS})	C4 / C1	Question:	Does sway increase when somatosensory cues are removed?
		Low scores:	Poor use of visual references.
Vestibular (R^{VEST})	C5 / C1	Question:	Does sway increase when visual cues are removed and somatosensory cues are inaccurate?
		Low scores:	Poor use of vestibular cues or vestibular cues unavailable.
Visual preference (R^{PREF})	(C3+C6) / (C5+C2)	Question:	Do inaccurate visual cues result in increased sway compared to no visual cues?
		Low scores:	Reliance on visual cues even inaccurate.
Altered proprioceptive information management (R^{PMAN})	(C4+C5+C6) / (C1+C2+C3)	Question:	Do inaccurate somatosensory cues result in increased sway compared to accurate somatosensory cues?
		Low scores:	Poor compensation for disruptions in selected sensory inputs.

Table 3. Dynamic posturographic test (DPT): Frequency distribution in the three types of strategies in eyes open (EO) and eyes closed (EC) conditions for the two groups of patients (Group I: Cobb angle from 5° to 14°; Group II: Cobb angle from 15° to 25°). n^o = number of patients in each type of potential sensorimotor strategy.

DPT		Group I, n = 35	Group II, n = 30	Intergroup comparison	
		n ^o (%)	n ^o (%)		
EO	Maintain	Type 1	33 (94.3 %)	22 (73.3 %)	Fisher's exact <i>P</i> = 0.035
		Type 2	2 (5.7 %)	8 (26.7 %)	
	Fall	0 (0.0 %)	0 (0.0 %)		
EC	Maintain	Type 1	13 (37.1 %)	4 (13.3 %)	$\chi^2 = 7.45, P = 0.024$
		Type 2	22 (62.91 %)	23 (76.7 %)	
	Fall	0 (0.0 %)	3 (10.0 %)		

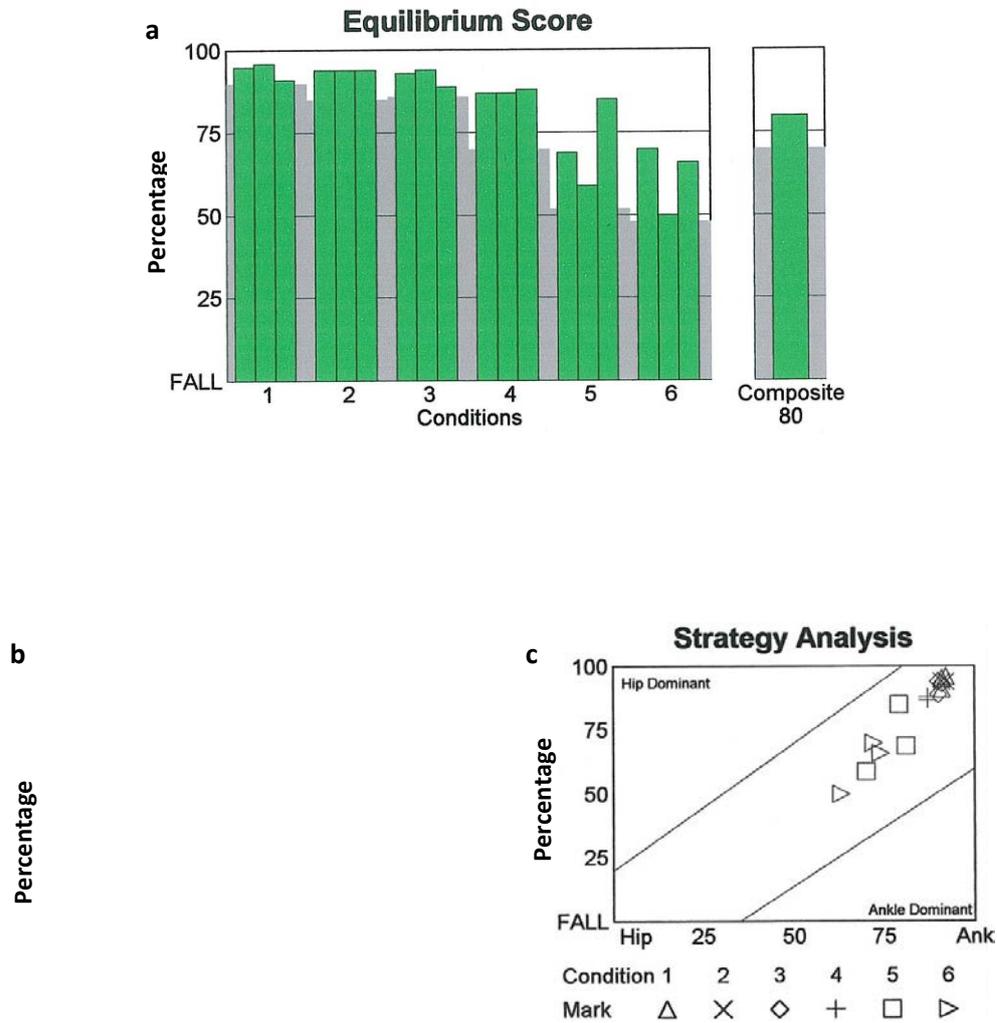


Figure 1. Sensory organization test: Comprehensive report (see methodology section) of one patient with idiopathic scoliosis (Group 1). (a) Representation of the equilibrium scores (from 0 to 100) in the 6 conditions and of the composite equilibrium score. Light grey columns: fifth percentile of normal equilibrium score used to delineate clinically abnormal postural performance for each condition. Dark grey columns: Equilibrium score for one trial (three trials per condition) – (b) Representation of the somesthetic (R^{SOM}), visual (R^{VIS}) and vestibular (R^{VEST}) ratios and visual preference (R^{PREF}) – (c) Representation of the strategy scores (hip or ankle dominance).

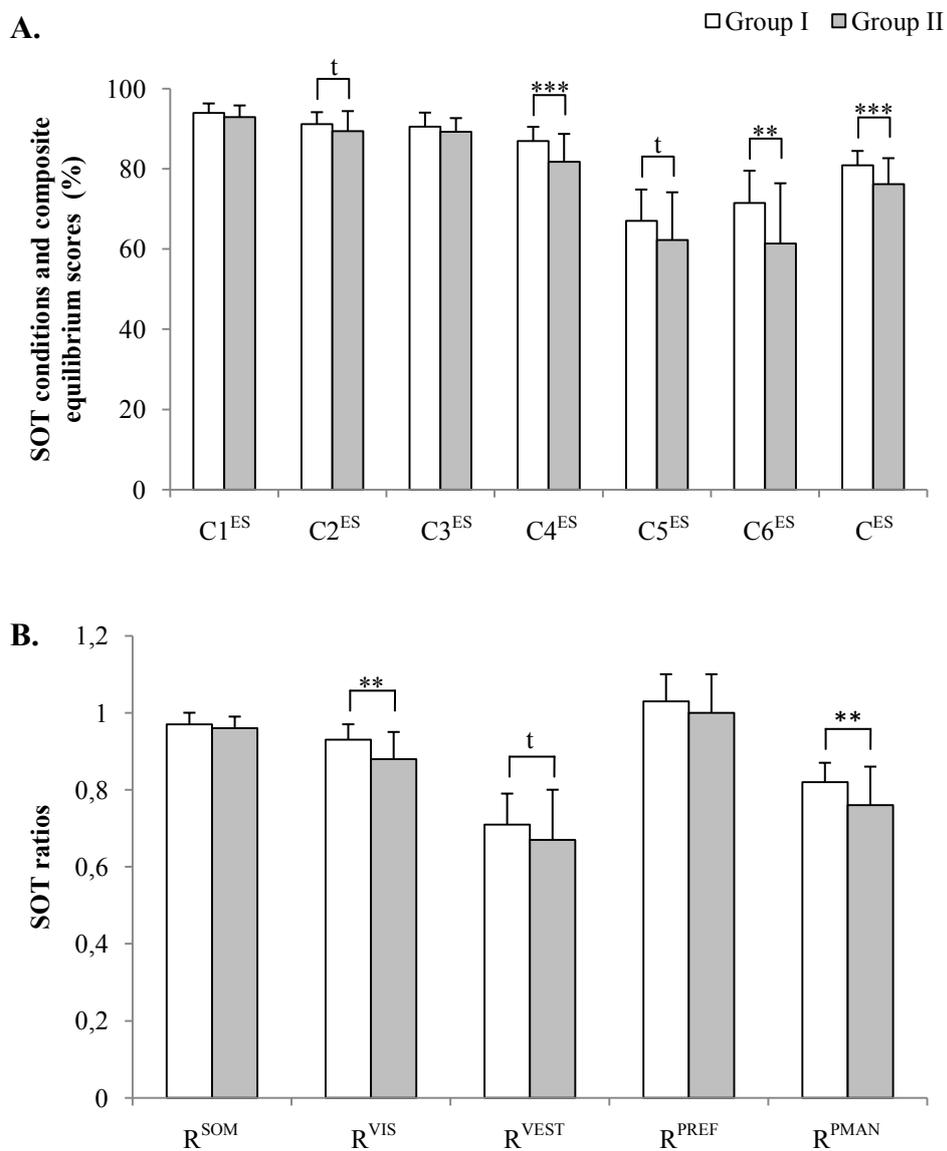


Figure 2. Sensory organization test: Mean results, topped by standard deviation, of the equilibrium scores (ES) for the six conditions (C1, C2, C3, C4, C5 and C6) and for the composite score (C) (graph A) and ratios (graph B) for the two groups of patients (Group I: Cobb angle from 5° to 14°; Group II: Cobb angle from 15° to 25°). * $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$; ^t $P < 0.1$.

Why do idiopathic scoliosis patients participate more in gymnastics?

C. Meyer^{1,2}, E. Cammarara¹, T. Hammon^{1,2}, D. Devitère^{1,2}, G. C. Gauchard^{1,2}, B. Leheup³, P. Lascombes⁴, Ph. P. Perrin^{1,2,5}

¹Équilibrium et Performance Motrice, UFR STAPS, Université Henri Poincaré, Villers-lès-Nancy, France, ²Institut National pour la Santé et la Recherche Médicale (INSERM), FRF 111EP12R, Faculté de Médecine, Vandœuvre-lès-Nancy, France, ³Service de Chirurgie Orthopédique Pédiatrique, Hôpital d'Enfants, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France, ⁴Institut Universitaire de Formation des Maîtres (IUFM) de Lorraine, Maréville, France, ⁵Service de Pédiatrie et Génétique Médicale, Hôpital d'Enfants, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France, ⁶Laboratoire d'Exploration Fonctionnelle, Service ORL, Centre Hospitalier Universitaire de Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France

Corresponding author: Ph. Perrin, MD, PhD, Equilibrium et Performance Motrice, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (UFR STAPS), Université Henri Poincaré - Nancy 1, 30, rue du Jardin Botanique, 54600 Villers-lès-Nancy, France. Tel: +33 383 682 929, Fax: +33 383 154 647, E-mail: Philippe.Perrin@staps.uhp-nancy.fr

Accepted for publication 10 June 2005

The influence of physical and sporting activities (PSA) on idiopathic scoliosis (IS) is still obscure. The aim of this study was to investigate whether such an influence exists and if so, to determine its characteristics. Two hundred and one teenagers with IS and a control group of 192 adolescents completed an epidemiological questionnaire. Those practising gymnastics were more numerous in the IS group than in the control group. Moreover, the practice of gymnastics was chosen before IS was diagnosed. As gymnastic activities are considered neither as a therapy nor as a precursor of IS, the distribution observed could be linked to a common factor that both increases the likelihood of IS and favours the

practice of gymnastics. Joint laxity (JL) may be such a common factor, and was therefore tested (wrist and middle finger) on 42 girls with IS and 21 girls of a control group. IS patients, practising gymnastics or not, showed a higher JL than the control group practising gymnastics or not. Furthermore, the groups practising gymnastic activities did not show higher JL levels than the other groups. Children with a high JL could be drawn toward gymnastics because of their ability to adapt to the constraints of this sport. Girls with a high JL may therefore be prone to developing IS. The fact that most teenagers with IS practise gymnastics could be related to a higher JL.

Idiopathic scoliosis (IS) is a spinal deformity consisting in a relative displacement of the vertebrae, occurring in the three spatial planes with no significant osteo-articular loss and developing on all or part of the spinal column, which is essentially progressive during the period of growth (Hagglund et al., 1992). Research has focused on primary abnormalities of the genetics, growth, structure and biomechanics of the discs and muscle, and on the central nervous system, none of these hypotheses has definitely been proved and their involvement is probably multifactorial (Sahlström & Lidström, 1989; Hagglund et al., 1992; Lonstein, 1994; Gauchard et al., 2001).

IS is one of the most common childhood spinal deformities. The incidence of this deformation varies from 0.4% to 13%, depending on how it is defined and depending on the slope of the curve (Brooks et al., 1975; Buanel, 1986; Goldberg et al., 1995). The type of curvature can be double or single (lumbar, thoraco-lumbar or thoracic location). Several studies have shown that the incidence of IS can increase with physical and sporting activity (PSA) (Becker, 1986;

Hellstrom et al., 1990), but no study has highlighted the influence of practicing PSA practice on IS. However, the frequency of the lesions and back pain is high among young sportswomen. Girls practising sports such as gymnastics (Micheli, 1985) and dancing (Micheli, 1983; Ireland & Micheli, 1987) run a higher risk of IS. Bone deformation is usual during the period of growth because of vertebral body weakness and mechanical constraints exceeding its natural resistance. Thus, muscular activity could impair IS. IS has been observed among 10% of tennis players (Hellstrom et al., 1990), 16% of young swimmers (Becker, 1986) and 74% in professional ballet companies (Warren et al., 1986). Dieting, weight loss and physical training can cause a drop in the estrogen level. A high frequency of delayed menarche, secondary amenorrhoea and irregular menstrual cycles are often observed among young ballet dancers (Warren et al., 1986). Restrictive diets, necessary to conform to a thin body image (Benson et al., 1990), supplemented by early physical practice, are known to delay menarche. Moreover, teenagers

could be more vulnerable to spine lesions during the peak of puberty because of the imbalance of muscular forces as well as joint flexibility (Strong et al., 1989). This phenomenon is similar among girls who practise eurythmics. The latter show a delay of maturity and growth probably caused by their thinness and joint flexibility (Tanchev et al., 2000).

However, these studies focused on high-intensity practices, more than 20h training per week. Adolescents must avoid intensive PSA, which can deteriorate the development of the musculo-skeletal system during growth (Barwell et al., 1983). The intensity of PSA practice of the majority of teenagers is low, hence the interest in observing the relationship between spine deviations and moderate PSA practice.

The authors agree on the fact that regular non-intensive physical activity has a positive effect on the adolescent with IS (Orney et al., 2000), which would seem to have a beneficial effect on many parameters (Fayada et al., 1999), especially on the respiratory and muscular systems (Van Sirempel et al., 1993) and on the psychological level (Frendel et al., 2002). Once a PSA has been well understood and practised, it becomes an essential complement of rehabilitation, muscular reinforcement and dynamization for the teenager (Perrin, 1995).

Traditionally, stretching sports such as basketball and volleyball are recommended (Fayada et al., 1999) because they involve keeping the spine straight. However, sporting activity is not limited to these practices, all the more so as IS remains moderate. Thus, many sports can be practised, including judo (Brandani, 1998), swimming (Becker, 1986), riding (Auvinet, 1998) and dancing (Orney et al., 2000). Lastly, the young child ought to practise several PSA (Parsch et al., 2002), using various resources. However, a consensus between the specialist in pediatric orthopedics and the sport physician is needed in order to advise the child properly.

Within this context, this study aimed to investigate the influence of the practice of PSA on IS and, if such an influence exists, to determine its characteristics.

Materials and methods

Subjects

Two hundred and one adolescent patients with progressive IS (174 girls, 27 boys; age range 9–18 years, mean 14.5, SD = 2.1) took part in this epidemiological study. All the children and their parents gave written consent before data collection. These participants were recruited from among patients with severe IS scheduled for surgery with Cotrel-Dubouset instrumentation and arthrodesis at the University Hospital of Nancy, and from among children because of being so, in plaster or an orthopedic corset with a follow-up at the Office d'Hygiène Sociale (Meurthe-et-Moselle, East of France). One hundred and fifty-one adolescents were treated with a brace (Cobb angle: 20–40°), and except for one subject submitted to surgery (Cobb angle greater than 40°), the rest of the group (49

patients) had only a medical follow-up (Cobb angle: 10°–20°). The majority of these adolescents at time of evaluation reached the end of growth and Risser (the apophysis staging was close to five). The distribution according to the location of IS was as follows: double major curve, $n = 92$; lumbar curve, $n = 59$; thoraco-lumbar curve, $n = 26$; and thoracic curve, $n = 34$.

The group with IS was compared with 192 control adolescents from secondary schools, aged from 12 to 18 (average age: 15.3 ± 1.6 years, 91 girls), so that if an IS were to appear it was already there.

Among the IS adolescent population, joint laxity (JL) was measured in 42 IS adolescents aged from 11 to 18 (mean age: 15.5 ± 2.4 years). A form requiring the consent of the subject and parents was signed before each data acquisition. A control group (C) was composed of 71 girls without IS aged from 14 to 18 (mean age: 15.7 ± 1.8 years). Both groups were partitioned according to the practice (IS-G and C-G) or not of gymnastic activity (IS-NG and C-NG).

Methods

A cross-sectional epidemiological study was carried out to highlight the relationships between the practice of PSA and IS. The first part of the questionnaire was based on the life style of the adolescent and more particularly home life status, sport, curricular and extra-curricular PSA before diagnosis of spine deviation, and on the psychological aspects (training courses and holidays), and was filled in by the patient. The second part, concerning the type of IS and its evolution, was filled in by the orthopedic surgeon or the rehabilitation physician.

JL, in order to reduce the effect that sport has on laxity, may be evaluated at the peripheral level of the subjects, i.e. wrists and fingers. The mean of the right and left values was noted for each of the two measurements made using a goniometer strapped to the subject's forearm.

This wrist test consisted in measuring the angle formed between the forearm and the dorsal face of the hand (metacarpus). The forearm was laid flat on a flat surface, the palm of the hand resting flat on the surface and the subject, with the help of the examiner, carried out a passive hyperextension of the wrist (Fairbank et al., 1984).

The middle finger test consisted in placing the forearm on a plane surface, the palm of the hand vis-à-vis the plane. The subject carried out a passive hyperextension of the middle finger by putting pressure on the proximal joint of the finger. The examiner measured the angle between the metacarpus and the first phalanx of the middle finger (Fairbank et al., 1984).

Statistics

Comparisons were made using nonparametric statistical tests (Statview Software, Abacus, Berkeley, California). The comparisons of distribution were carried out with the chi-square test. To the F -test, in accordance with the sample size associated to the graphic examination of the normality of the distributions, nonparametric statistical tests were used: ANOVA (variance analysis) for the study of the effects of the various factors and Fisher's PLSD test for pairwise comparisons. Statistical significance was accepted for P -values lower than 0.05.

Results

The IS group presented a heterogeneity of distribution according to the type of PSA, compared with a theoretical distribution, because of the presence of a

Table 1. Comparison between the adolescent group with IS and the control group concerning distribution into six PSA groups with 2F and 8G (2)

	IS group <i>n</i> = 201 % (n)	Control group <i>n</i> = 192 % (n)	OR	CI
No PSA	31.3 (63)	30.7 (59)		
PSA	68.7 (138)	69.3 (133)	0.97	0.67-1.40
Gymnastics	35.3 (70)***	15.5 (30)	3.03	1.90-4.99
OPA	7.4 (15)**	13.5 (26)	0.51	0.26-0.99
Team sports	5.0 (10)***	17.7 (34)	0.29	0.15-0.58
Aquatic sports	3.0 (7)	5.7 (11)	1.34	0.45-2.38
Dual sports	5.0 (10)	3.5 (7)	1.55	0.53-3.58
Fighting sports	4.5 (9)**	8.9 (17)	0.42	0.19-0.95
Athletics	2.5 (5)	3.1 (6)	0.73	0.25-2.48
Extreme sports	1.0 (2)	0.0 (0)	-	-

Statistical significance is indicated as follows: * $P < 0.05$, *** $P < 0.001$. OPA, outdoor physical activity; IS, idiopathic scoliosis; PSA, physical and sporting activity; OR, odds ratio; CI, confidence intervals.

predominant practice, namely gymnastics activity ($\chi^2_{df=2} = 57.9$, $P < 0.0001$). A similar distribution was noted in the control group explained by three important practices (gymnastics, outdoor physical activity and team sports) and three practices with few participants (dual sport, athletics and extreme sport) ($\chi^2_{df=2} = 37.4$, $P < 0.0001$). However, Table 1 shows that 68% of the adolescents with IS practised PSA, and that a similar rate of PSA practice (69.3%) was observed in the control group, revealing a homogeneity between these groups concerning PSA participants ($\chi^2_{df=1} = 0.017$, $P > 0.8$, odds ratios (ORs) = 0.97, confidence intervals (CIs) = 0.63-1.49). All the other activities combined, it seemed that patients with IS turned more to gymnastic activities than the control individuals ($\chi^2_{df=1} = 26.5$, $P = 0.0001$; ORs = 3.08, CIs = 1.90-4.98).

No significant difference was noted between the teenagers with double-major curve ($n = 25$) and teenagers with a simple curve ($n = 28$) in the group of children practising gymnastic activities.

The intensity of extra-curricular PSA practice was 1.6 sessions per week (Table 2). The duration of each session was on average 1 h and 30 min, meaning that the duration of weekly practice was approximately 2 h. Only 34% of these practising teenagers took part in 1-3 competitions during the year of practice. Moreover, 87.7% of the teenagers stopped their main practice during the holidays and preferred it to other activities like swimming in 65.5% of the cases. About 56.6% of the teenagers practised sport in order to be in good health, with no intention of competing and exceeding themselves.

More than 80% of the adolescents with IS did not report any back pain in relation with their spinal deformity. This observation is confirmed by the fact that 86% of these teenagers did not change their

Table 2. Teenagers with idiopathic scoliosis practising sport

Extra-curricular activities	% (n)	Age (years)	BMI (kg/m ²)	Training per week (n)
Gymnastics	82.9 (73)	14.5	18.8	1.5
OPA	10.3 (9)	14.1	17.1	2.3
Dual sports	7.2 (6)	15.1	15.8	1.5
Team sports	8.7 (8)	11.8	15.1	1.7
Aquatic sports	0.7 (2)	14.1	15.0	1.4
Fighting sports	6.8 (6)	14.4	15.8	1.5
Extreme Sports	1.8 (2)	16.1	20.0	2.0
Athletics	3.6 (3)	17.0	16.0	1.0
Speeding	10.0 (38)	14.5	15.7	1.5

Characterization of the various groups according to sport practiced, age, BMI and number of sessions per week. OPA, outdoor physical activity; BMI, body mass index.

practice habit before the evaluation by the pediatric orthopedics consultant.

A significant difference was determined between the body mass index (BMI), reflecting individual morphology, for the girls with IS, which was 18.29 (± 2.21), whereas it was 19.29 for the control group of the same age ($P < 0.0001$). A low BMI is typical of tall and light subjects.

Table 3 shows significant differences in the analysis of the wrist variance test ($F = 5.1$; $P < 0.005$). The IS group practising gymnastics (IS-G) showed higher amplitudes in the measurement of the articular flexibility of the wrist than the other groups, where the amplitudes were low (IS-G = $99.3 \pm 8.6^\circ$; IS-NG = $96.5 \pm 8.2^\circ$; C-G = $88.5 \pm 4.7^\circ$; C-NG = $88.2 \pm 12.5^\circ$). Thus, despite an absence of significance between the IS-G vs IS-NG and the C-G vs C-NG groups, in terms of PSA comparison, the following hierarchy from the lowest to the highest JL was observed: C-NG, C-G, IS-NG and IS-G. However, differences were noted between the IS-G vs C-NG ($P < 0.001$), IS-G vs C-G ($P < 0.01$), IS-NG vs C-NG ($P < 0.01$) and IS-NG vs C-G ($P < 0.06$) groups. The group of adolescents with IS (97.9%), whether practising gymnastics or not, displayed a higher JL than the teenagers of the control group (88.7%), whether practising gymnastics or not ($P < 0.0002$). In terms of distribution, wrist flexibility that exceeds the normal value ± 2 SD was 4.7% (one per 21) in the control group and 11.9% (five per 42) in the IS group.

A similar distribution was observed with the major test (Table 3), i.e. IS-G = $75.8 \pm 11.9^\circ$; IS-NG = $72.1 \pm 10.3^\circ$; C-G = $70 \pm 10.6^\circ$; and C-NG = $67.9 \pm 13.7^\circ$. A difference was observed between the IS-G and C-NG ($P < 0.05$) groups.

Discussion

This study showed that the teenagers with IS practised as much PSA as the control individuals, but

Table 3. Analysis of variance of the 2-6, the 5-10, and the 10-15 for the wrist and middle finger levels

	ANOVA											
	Control		IS MG		IS G		First F values (P)		Fisher's PLSD (P)			
	n	Mean	n	Mean	n	Mean	IS G vs IS MG	IS G vs G	IS G vs G MG	IS MG vs G	IS MG vs G MG	G vs G MG
Wrist (mm)	88.2	88.5	93.3	93.3	93.3	93.3	NS	0.001	0.001	0.05	0.01	NS
Middle finger (deg)	67.9	70	72.1	72.1	72.1	72.1	NS	NS	NS	NS	NS	NS

C MG, control group; IS MG, control group practising gymnastics; G, IS MG practising gymnastics; G MG, control group practising gymnastics; NS, 0.05 > p > 0.05.

that they were more frequently involved in gymnastic activities, whereas the controls practised team sports more often. The intensity of practice of the teenagers with IS was low (2h training per week).

The low intensity of practice cannot explain a delay in the growth and an asymmetrical overload on the spine. Thus, a low intensity of practice of gymnastic activities cannot increase the development of IS and cannot be at the origin of IS (Oucey et al., 2000). Moreover, teenagers with IS chose the practice of PSA before IS diagnosis, which did not lead to the adolescent practising a gymnastic activity.

As a general rule, IS in the pediatric population is not painful (Ramirez et al., 1997). On the other hand, several studies have reported generalized back pain in as many as 75% of young athletes (Sward et al., 1990). In our study, in spite of the high frequency in gymnastic practice, few adolescents with IS reported pain associated with spinal deformity. A low intensity of practice, in order to be in good health, could explain this low painful frequency and no complaint of fatigue in our population. This absence of back pain allowed them to begin or to continue a PSA like gymnastics practice.

The BMI was lower among the teenagers with IS than in the control population. Warren et al. (1986) noted that the young ballet dancers with IS were taller than those without IS, and Carr et al. (1993) noted that the teenagers with IS were taller during growth than the adolescents without IS. This can be explained by the fact that children with IS display a longer period of puberty and not by the actual practice of sport (Lanstein, 1991). There is also a relation between an image of a disturbed body and a feed disorder among teenagers with IS, that is confirmed by the fact that the diagnosis of this deformation is often associated with a low weight (Sarith et al., 2002). The low BMI of the girls with IS in this study shows that they are both tall and light, a characteristic which is common to girls practising gymnastic activities. There is a link between the morphotype of the teenager with IS and of teenagers practising gymnastic activities. Thus, young adolescents with a tall and slim morphotype would be more attracted to a practice requiring this characteristic as IS adolescents.

As IS did not lead the subjects to practise gymnastic activities and because the practice of gymnastics was not at the origin of IS, a common factor could explain these results. This factor would explain the high proportion of subjects practising gymnastic activities in the population of adolescents with IS.

Because IS and gymnastic activities concerned mainly girls, this common factor could be H, all the more so in that it is a very important element in practices such as gymnastic activities, it is more frequent among girls (Hulthén et al., 1992; Decoster

et al., 1997) and decreases with age (Larsson et al., 1987; Gedalia & Press, 1991).

The JL of the adolescents with IS, practising gymnastics or not, was higher than that of the control group, practising gymnastics or not. JL is likely in relation to the variation in collagen structures and connective tissue organization (Kirk et al., 1987). Higher JL was present before the diagnosis of IS. Moreover, the practice of PSA was chosen before the diagnosis of IS was made. Teenagers with a high level of articular flexibility are naturally directed toward PSA practices requiring this characteristic. Gymnastic activities, more precisely gymnastics, aerobics and dancing, are practices requiring a constitutionally increased TJ (Gannon & Bird, 1999; Tatchee et al., 2001). Adolescents with IS, who have a higher JL level, are more likely to choose gymnastic activities.

The level of practice of gymnastic activities has an influence on the teenagers' JL. As JL cannot be acquired by the sporting practice, adolescents having this natural specificity are more fitted to continue a practice that requires a great laxity (Klemp & Chalkou, 1989). Thus, adolescents with IS who have a high level of articular laxity are more likely to continue gymnastics.

The frequency of JL (Balthera et al., 1992; Desobler et al., 1997) in adolescents with IS is higher among girls. This distribution is even higher in the number of girls who practise gymnastics, according to the work of Tashiro et al. (2000) who considered that JL, growth retardation and asymmetrical overload on the spine are linked.

IS and joint hyperflexity are very often connected as far as the syndromes of Marfan and Ehlers-Danlos (Gampietro et al., 2002; Jones et al., 2002)

Physical activity and idiopathic scoliosis are concerned, the latter leading itself to performing gymnastic postures such as those of conventionalists in elite arts. Thus, these syndromes are also related to the presence of IS, JL and the practice of a PSA requiring a high degree of joint flexibility.

Perspectives

This study has shown that IS is associated with higher JL, but that it is not directly related to the practice of PSA. The practice of gymnastics does not have an influence on IS; however, adolescents with IS, by their high important JL, would seem to choose and prefer to continue the practice of gymnastic activities. This practice does not generate IS and its low intensity does not make spine deformation worse. This absence of IS aggravation by the practice of gymnastic activities shows that the exclusion of the latter is unjustified. The regular practice of gymnastic activities reinforces the deep muscles of the spine and consists in a proprioceptive work. Physicians must encourage adolescents diagnosed as having IS to begin or continue to practise PSA in a regular and non-fatiguing way without overdoing the practice of gymnastic activities. This practice will allow them to exercise and to complete their rehabilitation in a relaxing and playful way.

Key words: idiopathic scoliosis, physical and sporting activities, joint laxity, teenagers.

Acknowledgements

The authors are grateful to Drs. F. Belluomo, M. Kubacka, D. Freni and M. D. Debbay for their help in data collection.

References

- Acvitez B, Aquarone L, Benschel H, et al. *Tendons et la pratique sportive*. Paris, Masson, 1998, 207-208.
- Baker T.J. Softness in swimmers. *Can Sports Med* 1986; 2: 149-158.
- Jensen J.L., Allmann V., Litzén G.L., Hensahl H. Fatigue problems and collagen matrix levels in Swiss adolescent athletes. *Int J Sports Med* 1998; 19: 249-252.
- Urquhart J.C., Judd, J.A., Unsworth L., ed. *L'enfant et la pratique sportive*. Paris, Masson, 1998, 207-215.
- Brackley H.L., Aoyon S.P., Cheung H., Bisschop K., Chiu L., Schizas, A. *Prospective epidemiologic study*. *J Bone Jt Surg Am* 1972; 54: 968-977.
- Balthera A., Duto J.C., Fortin M., Poux S., Vellacoe R., Monte-Santre R. Clinical assessment of hyperlaxity of joints: assessment by goniometer. *J Rheumatol* 1992; 19: 112-122.
- Limone W.P. The natural history of scoliotic children. *Scoliosis and other Spinal Disorders* 1985; 10: 773-776.
- Boward R.G., James M., Johnson F., Welch J.R., Wilton Y.G. Standardized trunk asymmetry scores. *J Bone Joint Surg Br* 1983; 65: 452-460.
- Cheung A.F., Jefferson R.J. T. *meas-ment*. *Br AR Spine* 1993; 18: 30-32.
- Family studies in scoliotic scoliosis. *Lecturer L.C., Vallis J.C., Lacey K.L., Williams G.R. Prevalence and features of joint hypermobility among adolescent athletes. Arch Pediatr Adolesc Med* 1997; 151: 989-992.
- Franklin J.C., Pymont P.H., Phillips H. Quantitative measurements of joint mobility in adolescents. *Ann Rheum Dis* 1982; 42: 255-258.
- Fryer J.P., Martin C., Fildes P.V. *Essential J.C. Scoliosis: symptoms and signs*. *Sport Sci* 1993; 19(4): 38-42.
- Finkelstein R., Pellegrini E., Reibel D., Szemer A., Warchbuser F., Weiss H.K. Quality of life in women with hyperlaxity of the spine. *Spine* 2002; 27: 87-91.
- Gannon L.M., Bird H.A. The quantification of joint laxity in dancers and gymnasts. *J Sports Sci* 1999; 17: 741-750.

- Goucaud GC, Lescarbone F, Nunnally M, Puyin PP. The need of different types of non-invasive idiopathic scoliosis static and dynamic postural control. *Spine* 2001; 26: 1052-1058.
- Guedin A, Preis J. Articular symptoms in hypermobile scoliosclerotics: a prospective study. *J Pediatr Orthop* 1991; 119: 944-946.
- Gumpfero PF, Raggio C, Dovic IG. Marfan syndrome: or hypermobile general review. *Curr Opin Pediatr* 2002; 14: 32-42.
- Gutberg CI, Dowling FF, Fugusky ER, Moore LP. School scoliosis screening and the U.S. Preventive Services Task Force: an examination of longitudinal results. *Spine* 1993; 18: 1458-1474.
- Haglund CG, Karlberg J, Wilmer S. Growth in girls with idiopathic scoliosis. *Spine* 1992; 17: 108-111.
- Helminen M, Jacobson B, Suoni L, Peltonen I. Radiological abnormalities of the lumbar-lumbar spine in athletes. *Acta Radiologica* 1990; 31: 177-182.
- Ireland MI, Muechli JJ. Bony stress fractures of the lumbar pedicles in a football player. *Br J Bone J Surg* 1987; 69: 146-142.
- Jones MJ, Leckie G, Spooner JLD, Dormans JP. Spine deformity associated with Marfan syndrome. *Spine* 2002; 27: 2003-2012.
- Kirk JA, Ansell RW, Bywaters EG. The hypermobile syndrome: a study of the lower extremity, scoliosis, J Bone J Surg Am 1947; 29: 764-768.
- Saltzman T, Lidoron T. Equilibrium factors as predictors of the prognosis in adolescent idiopathic scoliosis. *Orthopedics* 1999; 152: 403-408.
- Smith LM, Lazziere G, Lall RM, Millner PA, Dickson RA. Indicators of distal trunking behavior in adolescent patients with idiopathic scoliosis. *J Bone J Surg Br* 2002; 84: 292-294.
- Strong WB, Starzinski CL, Smith RL, Wilmore JH. Strength, flexibility, and maturity in adolescent athletes. *Sports Med* 1989; 13: 290-293.
- Sward L, Helminen M, Jousimaa R, Nyman K, Peterson L. Acute injury of the vertebral ring apophysis and intervertebral disc in adolescent gymnasts. *Spine* 1990; 15: 144-148.
- Touchey PJ, Deleury AD, Poulos AJ, Lukyn LM, Leary MB. Seaborg in rhythmic gymnastics. *Spine* 2002; 27: 1367-1372.
- Van Stracape A, Scholz M, Drenth M. Sports injuries of patients with scoliosis. *Spine* 1997; 22: 29-32.
- Warren MP, Brooks-Gunn J, Luzzillo JH, Warren EF, Hamilton WK. Scoliosis and fractures in young female dancers. *N Engl J Med* 1986; 314: 1348-1355.
- Interskeletal callus is associated with generalized joint laxity. *Ann Rheum Dis* 1987; 26: 419-425.
- Klein J, Calton D. Articular mobility in ballet dancers: a follow-up study after four years. *Am J Sports Med* 1988; 17: 72-75.
- Larsson CG, Rann J, Muechli JJ, Savastius DR. Hypermobility, osseous, and different incidences between the sexes. *Arthritis Rheum* 1997; 40: 1426-1430.
- Loewen JL. Adolescent idiopathic scoliosis. *Jama* 1984; 344: 1407-1412.
- Miechli JJ. Back injuries in dancers. *Clin Sports Med* 1983; 2: 813-820.
- Miechli JJ. Back injuries in gymnasts. *Clin Sports Med* 1985; 4: 85-93.
- Quay MT, Muechli JJ, Gerber CP. Idiopathic scoliosis and spine analysis in the female athlete. *Clin Orthop* 2000; 372: 74-84.
- Rosol D, Frotman V, Rosen DR, Curran C, Schmitt JJ. Sports injury of patients with idiopathic scoliosis: a long-term follow-up. *Clin J Sport Med* 2002; 12: 95-98.
- Rosol PP. Rhythmic activities, physical education, and scoliosis: the function of equilibrium during contraction. *Etude des scolioses, en Vestiges, Paris, Arnette Blackwell, 1996; 9: 107.*
- Romero N, Johnson CF, Brown RH. The prevalence of back pain in children

Synthèse:

Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2006)

Pourquoi les patients présentant une scoliose idiopathique participe-t-il plus aux activités gymniques ?

C. Meyer, E. Cammarata, T. Haumont, D. Deviterne, G. C. Gauchard, B. Leheup, P. Lascombes, Ph. P. Perrin

Résumé :

Plusieurs études ont montré que l'incidence de la scoliose idiopathique pouvait augmenter avec les activités physiques et sportives (Becker 1986 ; Hellstrom et al 1990), mais aucune étude n'a mis en évidence l'influence de la pratique des activités physiques et sportives sur la scoliose idiopathique. L'étude présente montre que les activités sportives sont débutées dans l'enfance, le plus souvent avant la puberté et avant le diagnostic de scoliose idiopathique. Cette pratique n'est donc pas influencée par la connaissance du diagnostic de cette pathologie. Pendant la puberté, la croissance du rachis s'accélère et le risque d'évolution de la scoliose est maximal. Aussi est-il possible qu'un facteur commun puisse à la fois favoriser cette pathologie et encourager la pratique de la gymnastique. Ce facteur commun pourrait être la laxité ligamentaire. L'étude montre que la laxité articulaire du groupe scoliotique est plus importante que celle du groupe contrôle et ce quelque soit la pratique sportive. La laxité ligamentaire pourrait en effet conduire les enfants vers une activité requérant une souplesse articulaire conséquente mais aussi favoriser le déplacement des vertèbres les unes par rapport aux autres pendant une période critique de croissance osseuse, vertébrale en particulier.

Sujets et Méthode :

Participants : 201 sujets scoliotiques et 192 sujets contrôles ont été inclus dans cette étude épidémiologique. Les sujets scoliotiques (174 filles, 27 garçons) étaient âgés de 9 à 18 ans (âge moyen : $14,5 \pm 2,1$ ans) et ont été recrutés dans le service de Chirurgie Infantile Orthopédique du Centre Hospitalo-Universitaire de Nancy ainsi qu'au Centre de Rééducation

et Réadaptation pour enfants de Flavigny-sur-Moselle. Cent cinquante deux enfants présentaient une scoliose sévère. Cent cinquante et un d'entre eux ont été traités par corset (angle de Cobb compris entre 20 et 40°), et un enfant a été traité ensuite chirurgicalement par une arthrodèse intervertébrale avec instrumentation postérieure de Cotrel-Dubousset pour un angle de Cobb excédant 40°. Le reste du groupe scoliotique (49 sujets) comprenait des adolescents scoliotiques en surveillance clinico-radiologique simple sans traitement (angle de Cobb compris entre 10 et 20°). La majorité des patients de l'étude atteignaient la fin de croissance avec un Risser très proche du stade 5. La distribution quant au type topographique de scoliose était la suivante : scioses thoraciques, n = 34 ; scioses thoracolombaires, n = 26 ; scioses lombaires, n = 59 ; scioses doubles majeures, n = 82. Le groupe contrôle était composé de 192 adolescents (171 filles, 21 garçons), âgés de 12 à 18 ans (âge moyen : 15,3 ± 1,9 ans). L'âge de recrutement a permis d'avoir la certitude que si une scoliose devait être présente, elle le serait déjà à cet âge, que la scoliose soit d'ailleurs juvénile, infantile ou de l'adolescence.

La laxité ligamentaire a été mesurée chez 42 patients du groupe scoliotique, âgés de 11 à 18 ans (âge moyen : 15,5 ± 2,4 ans) et 21 patients du groupe contrôle âgés de 14 à 18 ans (âge moyen : 16,4 ± 1,8 ans). Les deux groupes, scoliotiques et témoin, ont été divisés en fonction de la pratique sportive présentant soit une activité gymnique ou non.

Méthode :

Cette étude épidémiologique transversale a été menée pour évaluer les relations entre les activités physiques et sportives et la scoliose idiopathique. La première partie du questionnaire a été consacrée à l'habitus du sujet, les données biométriques et les activités physiques et sportives, scolaires et extrascolaires, considérant aussi le type et l'intensité de leur pratique, tout ceci avant le diagnostic de la déformation scoliotique. Cette première partie du questionnaire a été remplie par l'adolescent lui-même. La seconde partie du questionnaire était consacrée à la scoliose et en particulier son type et son évolution. Cette partie a été complétée soit par le chirurgien orthopédiste infantile soit par le médecin rééducateur.

La laxité articulaire a été mesurée au niveau d'articulations périphériques (poignet et doigts) pour réduire l'importance que la pratique sportive pouvait avoir sur la mobilité articulaire. La mesure de la laxité articulaire au poignet a été réalisée, lors d'un mouvement passif maximal d'extension du poignet, par mesure de l'angle formé entre l'avant-bras et la face dorsale de la main (Fairbank et al. 1984). Le test du majeur (3^{ème} doigt) consistait en un mouvement passif

maximal d'extension de l'articulation métacarpo-phalangienne (Fairbank et al. 1984). La mesure de l'angle de mobilité était celui formé entre le troisième métacarpien et la phalange du troisième doigt.

Résultats :

La pratique des activités physiques et sportives était notée dans 68% des adolescents présentant une scoliose idiopathique et 69,3% dans le groupe contrôle révélant une homogénéité entre les deux groupes concernant la pratique des activités physiques et sportives. 86% des adolescents n'ont pas changé la pratique de leurs activités physiques et sportives après le diagnostic de leur scoliose. Parmi toutes les activités physiques et sportives, le groupe d'adolescents scoliotiques pratiquait plus la gymnastique que le groupe contrôle qui lui s'orientait plus volontiers vers les sports collectifs. La première partie du questionnaire a également montré que les adolescents scoliotiques pratiquaient certes autant d'activités physiques et sportives que le groupe contrôle, mais avec une intensité moindre.

En ce qui concerne la laxité articulaire du poignet, il existe une différence entre le groupe scoliose et le groupe contrôle. Il n'existe pas de différence significative entre le groupe scoliose sans pratique sportive et le groupe scoliose avec pratique sportive ainsi qu'entre le groupe contrôle avec pratique sportive et le groupe contrôle sans pratique sportive. Une hiérarchie entre les groupes peut toutefois être établie en termes de laxité articulaire de la plus faible à la plus importante : contrôle sans activité gymnique ; contrôle avec activité gymnique ; scoliose sans activité gymnique ; scoliose avec activité gymnique. Des différences sont mises en évidence entre les scolioses avec pratique gymnique et contrôle sans pratique gymnique ainsi qu'entre les groupes scoliose avec pratique gymnique et contrôle avec pratique gymnique mais aussi entre les groupes scoliose sans activité gymnique et contrôle avec pratique gymnique. Le groupe des adolescents avec scoliose qu'ils pratiquent ou non des activités gymniques démontrent une plus grande laxité que le groupe contrôle pratiquant ou non des activités gymniques.

Discussion :

Cette étude a montré que les adolescents scoliotiques pratiquaient autant d'activités physiques et sportives que le groupe contrôle, mais avec une intensité moindre et étaient plus investis dans les activités gymniques. L'intensité moindre des activités ne peut pas expliquer le développement de la déformation rachidienne. De plus, les adolescents scoliotiques ont choisi la pratique des activités gymniques avant le diagnostic de la scoliose, qui n'a donc pas par lui-même conduit les sujets à s'orienter vers cette pratique sportive. Ainsi parce que la scoliose idiopathique n'a pas conduit les sujets vers la pratique des activités gymniques et que cette pratique n'est pas à l'origine de la scoliose, un facteur commun pourrait expliquer ces résultats. Parce que la scoliose idiopathique et les activités gymniques concernent plus les filles, le facteur commun pourrait être la laxité articulaire. En effet, la laxité articulaire des adolescents scoliotiques, pratiquant ou non des activités gymniques, est plus importante que celle des adolescents du groupe contrôle, pratiquant ou non les activités gymniques, et le niveau de pratique des activités gymniques n'a pas d'influence sur la laxité articulaire des adolescents. La laxité articulaire en relation avec des variations de structure du collagène et d'organisation du tissu conjonctif, pourrait être à l'origine de l'orientation des patients vers une activité sportive requérant une souplesse articulaire conséquente. C'est ainsi d'ailleurs, au-delà de la scoliose idiopathique, que les anomalies caractérisées du tissu conjonctif dans les syndromes de Marfan et d'Ehlers-Danlos confèrent aux patients une laxité sévère, conduisent vers des scoliose très fréquemment et orientent aisément les patients vers les activités gymniques extrêmes comme le contorsionnisme dans les arts du cirque.

The practice of physical and sporting activity in teenagers with idiopathic scoliosis is related to the curve type

C. Meyer^{1,2}, T. Hamoui^{1,2}, G. C. Ganchard^{1,2}, B. Lohrup⁴, P. Lecomtes², Ph. P. Perrin^{1,2,5}

¹Nancy University, University Henri Poincaré, Nancy 1, Balance Control & Motor Performance, UFR STAPS, Villers-lès-Nancy, France; ²Inserm, ER111, Faculty of Medicine, Vandœuvre-lès-Nancy, France; ³Department of Paediatric Orthopedic Surgery, Children Hospital, University Hospital of Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France; ⁴Department of Paediatrics and Medical Genetics, Children Hospital, University Hospital of Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France; ⁵Department of ENT, Children Hospital, University Hospital of Nancy, Vandœuvre-lès-Nancy, France

Corresponding author: Prof. Ph. Perrin, MD, PhD, *Équilibration et Performance Motrice, Unité de Formation et de Recherche en Sciences et Techniques des Activités Physiques et Sportives (UFR STAPS), Université Henri Poincaré, Nancy 1, 30, rue du Saurin Butaichon, 54 060 Villers-lès-Nancy, France. Tel: +33 383 682 929. Fax: +33 383 154 647. E-mail: Philippe.Perrin@univ-nancy.fr*

Accepted for publication 12 October 2007

Idiopathic scoliosis (IS) is correlated with a muscular disequilibrium of the spine and an alteration of balance control, efficient performance of the latter being necessary for physical and sporting activities (PSA). However, the type of the IS curve has different effects on muscle and on balance control according to the primary curve location. This study aimed to determine the relationships between IS type and PSA practice. One hundred and sixty-nine girl adolescents with IS [double major curve (DMC) scoliosis: $n = 74$; single major curve (SMC) scoliosis: $n = 95$] and 100 age-matched control girl adolescents completed an epidemiological questionnaire informing on curricular and extra-

curricular PSA. Adolescents with DMC scoliosis practised more PSA than those with SMC scoliosis. Moreover, among all PSA referenced, gymnastic activities are the most practised PSA both in IS teenagers, whatever the curve type, and in controls. Besides, teenagers practising gymnastics were more numerous in those with DMC scoliosis than those with SMC scoliosis and controls. The highest proportion of adolescents with DMC scoliosis practising PSA, especially gymnastics, could be linked to the fact that they are less subject to scoliosis-related biomechanical repercussions leading to a better balance control, which is essential in these PSA.

Idiopathic scoliosis (IS) is a three-dimensional structural and morphological deformity of the spine with a rib cage deformity and an imbalance of transverse and paravertebral muscles (Stokes et al., 1987, 1989; Coillard & Rivard, 1996). Biomechanical influences may have a secondary effect on the possibilities of curve progression (Machida, 1999). In this respect, authors have confirmed relationships between the biomechanical process and the presence of IS (Perdriolle et al., 1993; Veldhuizen et al., 2000). Moreover, IS seems to be associated with postural control disorders (O'Beirne et al., 1989). Nevertheless, the role of sensorimotor chains involved in postural control remains unknown in IS development (Herrman et al., 1985; Machida, 1999). The development of IS occurs mainly during puberty and is characterized by considerable spinal development (Nicolopoulos et al., 1985) and concerns young girls in the majority of cases (Nissinen et al., 2000). The spine is subject to considerable modification during the period of skeletal growth, because bone

deformation may occur. This modification also has an effect at the muscular level, more particularly on young adolescents with IS who are taller than healthy adolescents (Willner, 1975). Moreover, the deterioration of the spinal asymmetry is affected differently according to the type of IS – double (DMC) or single (SMC) major curve – postural repercussions induced being less important in the first case (Clauchard et al., 2001).

The practice of physical and sporting activities (PSA) is necessary for children, especially those with IS, because it allows cardiovascular and proprioceptive improvement as well as reinforcement of the deep spinal muscles (Von Stempel et al., 1992; Fayada et al., 1999). Nevertheless, IS is characterized by spinal muscular and postural control alterations and, therefore, biomechanical and physiological repercussions generated by these alterations could be an explanatory factor of the practised PSA chosen in adolescents with IS. However, few epidemiological studies were interested in the relationships between

PSA practice and the different types of IS. In this context, the aim of this study was to determine, in IS adolescents, the relationships between curve type, DMC or SMC, and type of PSA practised.

Material and methods

Participant inclusion

One hundred and sixty-nine girls with IS (age: mean (m) = 14.5 \pm 1.9 years; treatment by orthopedic brace: n = 12; medical follow-up: n = 40) and 100 age-matched control girls without IS or any other pathology were included in this study.

Patients were recruited from among patients with progressive IS with follow-up at the University Hospital of Nancy and at the Office d'Hygiène Sociale (Flavigny, Meurthe-et-Moselle), No. 10-Hôpital de France, France. All other types of scoliosis were excluded from the study. During the physician consultation, the orthopedic surgeon evaluated stand-up radiographs to determine the location and direction of each patient's primary or secondary spinal curve. Eighty-five percent of the adolescents with IS reported no back pain due to their spinal deformity before diagnosis of IS. Controls were recruited from among secondary school pupils in the Meurthe-et-Moselle department. The presence of scoliosis could be excluded in the control group by the school health clinical screening of the current year and by the routine or vaccination delivery visit by the family physician or pediatrician.

All these adolescents were invited to participate in this epidemiological survey, and all of them agreed to fill in a questionnaire. Because of the low age of these participants, parents could assist their children to complete the questionnaire. All teenagers and parents gave written consent before data collection.

Questionnaire

This epidemiological study was carried out to highlight the relationships between the practice of PSA and the type of IS curve. The questionnaire used was composed of two parts (Meyer et al., 2006): the first part, which was completed both by patients and by controls, is based on biometric status determination and on curricular and extra-curricular PSA (type of PSA, intensity of practice) before the diagnosis of spine deformity for patients. For a first analysis, PSA was divided into eight categories according to a law from the French Ministry of Sports: aquatic sports (i.e. swimming), athletics (i.e. running, throwing, jumping), dual sports (i.e. tennis, badminton, fencing), extreme sports (i.e. para-boarding), fighting sports (i.e. judo, karate), gymnastics (i.e. acrobatics, dancing, gymnastics), outdoor physical activity (i.e. cycling, climbing, diving), and team sports (i.e. football, volleyball, handball). For a second analysis, PSA were divided into four other categories according to physiological and biomechanical aspects: (i) balance control and symmetrical PSA (bePSA²⁰) such as certain gymnastic activities, dual sports like judo, certain outdoor activities like riding, (ii) bioenergetic and asymmetrical PSA (aePSA²⁰) such as swimming, certain athletic (training) and team sports (volleyball) practice, (iii) balance control and asymmetrical PSA (bePSA²⁰) such as certain athletic (throwing) and gymnastic sports, and (iv) bioenergetic and asymmetrical PSA (aePSA²⁰) such as certain team sports (handball), dual sports like tennis or badminton. All the teenagers had gone through the same French school system, especially concerning physical training (same sports, same duration of practice) and therefore any differences in the

physical sporting experiences between patients and controls came only from their extracurricular or leisure practices. The second part of the questionnaire relating to the type of IS (SMC or DMC) and its evolution (IS: progressive or not, brace or not) was filled in by the orthopedic surgeon or the rehabilitation physician.

Group repartition

The IS teenagers were split into two groups according to the type of scoliosis (Bradford et al., 1987).

Seventy-four girls with DMC scoliosis (age: m = 14.5 \pm 2.0 years; body mass index (BMI): m = 15.3 \pm 1.5 kg/m²) constituted the DMC group. Among them, 56 adolescents were treated with a brace (Cobb's angle: 20°–40°) and 18 had medical follow-up only (Cobb's angle: 0°–20°).

Ninety-five girls with SMC scoliosis (age: m = 14.8 \pm 2.2 years; BMI: m = 16.8 \pm 1.6 kg/m²) constituted the SMC group. Among them, 52 were treated with a brace (Cobb's angle: 20°–40°) and 22 had medical follow-up (Cobb's angle: 0°–20°).

No statistically significant difference was observed for age and BMI parameters (t = 0.54, NS and t = 0.72, NS, respectively) between the DMC and SMC groups. The type of brace was similar between the two groups and no difference was reported in the number of orthopedic corsets between DMC and SMC groups ($\chi^2_{2,2} = 1.0$, NS).

Moreover, DMC and SMC groups were compared with the control group of 100 girls (age: m = 13.2 \pm 2.1 years), no difference was observed for age between the control group and the DMC group (t = 0.82, NS) and the control group and the SMC group (t = 0.61, NS).

Statistical analysis

Student's t -test was used to compare the intensity of practice between the DMC and SMC groups, as well as age and BMI parameters described in "Material and Methods." The χ^2 test was used to compare the different distributions concerning PSA practice between the three groups (overall heterogeneity) or between each two-two comparison (pairwise comparison). Statistical significance was accepted for P -values < 0.05 for overall heterogeneity. The Bonferroni procedure was applied to pairwise comparisons by adjusting "familywise α " to a significance level of $P \leq 0.05/3 = 0.017$ in accordance with the three possible comparisons.

Results

For the distribution of adolescents practising PSA (Table 1), an overall heterogeneity was observed for this parameter between the three groups. The PSA practice was significantly more frequent in the DMC group than in the SMC group. Moreover, the PSA practice of controls was intermediate, no statistically significant differences being observed between the DMC and control groups, and the SMC and control groups. Moreover, for subjects practising PSA, the intensity of the extracurricular training session was non-intensive but regular (m = 1.7 \pm 0.4 h per week and m = 1.7 \pm 0.3 h per week respectively), no

Table 1. Comparison of the relationships between the practice or not of physical and sporting activities (PSA) and of gymnastics in adolescents with double major curve (DMC) or with single major curve (SMC) scoliosis and in controls

	PSA										χ^2	P
	Gymnastics					No PSA						
	Standard PSA	Team sports	Aquatic sports	Dual sports	Fielding sports	Extreme sports	DMC vs PSA	DMC vs SMC	Gymnastics vs all sports	DMC vs control		
DMC (n = 74) % (n)	54.0 (40)	35.6 (26)	19.0 (14)	25.4 (21)	9.5 (7)	4.8 (3)	17.6 (13)					$\chi^2 = 10.5$ P = 0.008
SMC (n = 95) % (n)	32.6 (31)	27.8 (26)	13.6 (13)	30.5 (29)	10.3 (10)	3.4 (3)	35.9 (35)					$\chi^2 = 13.1$ P < 0.001
Control (n = 100) % (n)	27.0 (27)	23.5 (23)	11.6 (11)	31 (31)	17.6 (17)	0.0 (0)	22.0 (22)					$\chi^2 = 4.1$ P = 0.04

Values in *italic* = significantly different from Bonferroni procedure only; P-values in *bold* = significant also for the χ^2 procedure application; NS, non-significant.

Physical activity and idiopathic scoliosis

Table 2. Comparison of the distribution between the type of physical and sporting activities (PSA) (balance out of (be) or close specific (be), symmetrical (S) or asymmetrical (aS)) and the type of IS (double major curve (DMC) or single major curve (SMC) scoliosis); n: number of PSA practices in each IS group

	bePSA ^S	bePSA ^a	bePSA ^{aS}	bePSA ^S	χ^2	P
DMC (n = 61) % (n)	57.4 (35)	24.5 (15)	8.2 (5)	9.5 (6)	$\chi^2 = 0.6$	NS
SMC (n = 63) % (n)	51.7 (31)	20.7 (13)	11.6 (7)	10.0 (6)		

NS, non-significant.

statistically significant differences being observed between the DMC and SMC groups ($t = 1.42$, NS).

The type of PSA presented a heterogeneity of distribution compared with a theoretical distribution, due to the presence of a predominant practice, namely gymnastic activities ($\chi^2_{(1)} = 14.1$, $P < 0.001$). Concerning the practice of specific activities, an overall heterogeneity was observed for the practice of gymnastic activities compared with all other activities between the three groups (Table 1). Moreover, the number of adolescents practicing gymnastic activities is higher in the DMC group (40/61, 65.6%) than in the SMC group (31/60, 51.7%) and in the control group (27/78, 34.6%), statistically significant differences being observed between the DMC and SMC groups, and the DMC and control groups.

Table 2 shows no difference between the type of PSA (bePSA^S, bePSA^a, bePSA^{aS}, and bePSA^S) and the curve type (DMC or SMC scoliosis).

Discussion

The aim of this study was to determine, in adolescents with IS, the relationships between curve type and PSA practice. The results showed that teenagers with DMC scoliosis practised more PSA than those with SMC scoliosis. Moreover, the practice of gymnastic activities was more important in the DMC group than in the SMC group and in controls.

The adolescents with IS taking part in this study were reaching the end of their period of growth, which means that if a spinal deformation was going to appear, it would have already been there. Indeed, the end of IS progression appears to be around 15 years of age, when girls reach a plateau of growth (Duval-Beaupre & Barthel 1983). Few IS adolescents progress into adulthood because curve progression does not usually evolve beyond this plateau.

Most PSA practices impose important local and global constraints such as muscular stresses, complex

movements, and postural control imbalance, and the sensory and biomechanical management of the activity is essential for its adequate fulfilment (Hilott, 2006). In this respect, PSA practice requires an adapted spinal muscular symmetry and an efficient body orientation in order to carry out the movements correctly. On the other hand, it is known that IS is correlated with a spinal muscular disequilibrium characterized by an imbalance of the paravertebral muscles between the two sides of the spine (Schultz et al., 1981; Ford et al., 1988). In this study, results have shown that the distribution of adolescents with IS practising PSA was higher in the DMC group than in the SMC group. These results could be related to the fact that the spinal symmetry alteration is affected differently depending on the type of IS. In this respect, biomechanical repercussions induced are less important in IS of DMC type because of a better spinal compensation generated by the two major curves (Gauchard et al., 2001). In this way, the fact that adolescents with DMC seem to be more suited to practise PSA than those with SMC could be probably due to a better symmetry of their spinal muscle structure, and hence a better management of biomechanical constraints.

This study showed that adolescents with IS, especially those with DMC scoliosis, practised more gymnastic activities than adolescents without IS. A previous study has determined that a higher number of adolescents with IS in gymnastic activities compared with controls could be linked to a higher joint laxity (Meyer et al., 2006). In most cases, gymnastics requires symmetrical supports on the feet or on the hands and good paravertebral musculature symmetry is necessary. Moreover, gymnastics practice necessitates an efficient balance control; however, IS is associated with disorders at each level of balance regulation and so leads to impaired postural control (O'Beirne et al., 1989). In this respect, a defect in the vestibular system can be observed in the IS population and studies have shown an asymmetric sensitivity between the labyrinths (Sahlstrand et al., 1979; Yamamoto et al., 1982). Other studies have reported that IS is accompanied by proprioception disorders (Yekutieli et al., 1981; Barrack et al., 1984). Adolescents with IS may adopt new motor control strategies based on recalibration or reinterpretation of proprioceptive signals arising from the axial musculature (Herman et al., 1985). However, the change in postural control is influenced by different types of

progressive IS. In this respect, better static and dynamic postural control performances in the DMC group compared with the SMC group could be due to a better biomechanical balance inherent to the type of IS (Gauchard et al., 2001). The current results indicate that a relationship exists between gymnastic activity practice and DMC scoliosis. Better postural control could allow adolescents with DMC scoliosis to better fulfil the requirements of these practices and also to begin or to continue gymnastic activities. Moreover, whatever PSA is practised, a concomitant proprioceptive and vestibular exercise could permit adolescents with IS to develop better balance control, this being facilitated for those with DMC. PSA practice would therefore be useful to compensate for muscular and neurological disequilibrium. Indeed, some studies have shown that the regular practice of PSA does not only improve muscular forces, but also the quality of balance control (Gauchard et al., 1999, 2003). Thus, muscular exercise done by adolescents with IS could allow them to improve postural control.

Perspectives

As a surprisingly large percentage of adolescent girls with DMC engages in PSA, particularly in gymnastics, and given the need for this group of patients to exercise, it might be something that physical therapists and physicians should encourage in their patients the regular and non-intensive practice of PSA. The latter could intervene at sensorimotor and biomechanical levels and complete rehabilitation in a relaxing and playful way (e.g. juggling). However, the choice of PSA must take into account the fact to avoid spinal column traumas, which can be provoked by PSA such as judo, triple jump, long jump, butterfly swimming, weightlifting, or off-road cycling. Girls with SMC are less likely to exercise, and the reason for this warrants more research.

Key words: adolescent idiopathic scoliosis, curve type, physical and sporting activity, gymnastics

Acknowledgements

The authors are grateful to Drs T. Beltramo, M. Kuhnast, D. Fort, and M. D. Deblay for their help in data collection.

References

- Barrack RL, Whiteshead IS, III, Burke SW, Cook SD, Harding AJ. Proprioception in idiopathic scoliosis. *Spine* 1984; 9: 691-695.
- Bradford DS, Lonstein JL, Ogilvie JW, Winter RD (eds). *Moe's textbook of scoliosis and other spinal deformity*. 2nd edn. Philadelphia: Ed Saunders WB Company, 1987.
- Coillaz C, Rivard CH. Vertebral deformities and scoliosis. *Eur Spine J* 1996; 5: 91-100.
- Druval-Benayes G, Berthe F. Growth in scoliosis. *Rev Clin Orthop*

- Rajapahar Apper. *Medicine* 1983; 60: 201-202.
- Hillard R. *Biomechanics of Lumbos. H. J. Sports Med* 2006; 40: 369-376.
- Frasella P, Malin G, Pflusky J, Leonard JG. *Scoliosis: Optimal of Sport Sci* 2009; 14: 28-33.
- Forst DM, Roggilli R M, Cleverley CA, Mahfoudh KHA. *Muscle's qualities and the proprioception measurement of patients with adolescent idiopathic scoliosis. Spine* 1998; 13: 461-466.
- Greenfield GC, Jarrins C, Tessler A, Perrin IV. *Beneficial effect of proprioceptive physical activities on balance control in elderly human subjects. Neurosci Lett* 1999; 273: 31-34.
- Greenfield GC, Lacombe P, Kuhlbal M, Perrin IV. *Influence of different types of progressive idiopathic scoliosis on static and dynamic postural control. Spine* 2001; 26: 1072-1078.
- Greenfield GC, Tessler A, Jarrins C, Perrin IV. *Long-term muscle strength and power in elderly exercising regularly. Int J Sports Med* 2004; 25: 71-74.
- Herman R, Moore J, Fiedel A, Moulton R, Snygel J. *Idiopathic scoliosis and the central nervous system: a motor control problem. The Harrington Institute 1984. Scientific Research Society. Spine* 1986; 10: 1-14.
- Machida M. *Course of idiopathic scoliosis. Spine* 1990; 24: 2776-2783.
- Meyer C, Lammonta H, Haidich T, Pothmann P, Gombrow GC, Lohrer R, Lacombe P, Perrin IV, Whyde. *Idiopathic scoliotic patients receive low values in gymnasium. Scand J Med Sci Sports* 2006; 16: 251-256.
- Neuchapuis KS, Bussell RA, Welch JK. *Stereore and its contribution in scoliosis. Idiopathic scoliosis cephalocaudal in the trunk of girls. J Bone Joint Surg Br* 1985; 67: 346-601.
- Nishimori MI, Hideoyama MM, Sotomura JI, Koyama MH, Hiramatsu KA, Fujita MS. *Development of trunk asymmetry in a cohort of children ages 11 to 22 years. Spine* 2000; 25: 232-234.
- O'Brien J, Colclough C, Dowling FE, Foyarty FF. *Enthalpic dysfunction in scoliosis: cause or effect? Spinal Physiol* 1989; 2: 184-189.
- Pfeiffhaber R, Roehrer S, Vahel T, Koppe P. *Medicinal process and growth. Potential factors for the progression of scoliosis. Spine* 1999; 18: 343-349.
- Schibye and T, Poirson B, Orlangren R. *Vestibulospinal reflex activity in patients with idiopathic idiopathic scoliosis. Postural effects during caloric labyrinthine stimulation recorded by videometry. Acta Otolaryngol* 1979; 50: 275-281.
- Schultz A, Hadergust R, Lakshminar S. *Correction of scoliosis by muscle stimulation. Electromyogram analysis. Spine* 1991; 5: 465-476.
- Sholes JA, Bigelow EG, Worland MS. *Three-dimensional spinal curvature in idiopathic scoliosis. J Orthop Res* 1987; 5: 103-113.
- Sholes JA, Damsch J, Mowbray MS. *Rib's angle asymmetry in idiopathic scoliosis. J Orthop Res* 1989; 7: 299-306.
- Vedhaman AG, Weyer EX, Webb PJ. *The aetiology of idiopathic scoliosis: biomechanical and neurovascular factors. Eur Spine J* 2000; 9: 178-184.
- Von Stempel A, Schor M, Drenzer M. *Sports capacity of patients with scoliosis. Sportwetz Sportschaden* 1993; 7: 58-62.
- Wither S. *A study of height, weight and muscular endurance in girls with idiopathic structural scoliosis. Acta Otolaryngol* 1975; 46: 71-83.
- Yamamoto H, Tam T, Mochizue GH, Teramoto T. *An evaluation of isometric endurance as a prognostic factor of early idiopathic scoliosis. J Pediatr Orthop* 1987; 7: 571-578.
- Yokota M, Rubin GR, Yano R. *Proprioceptive function in children with idiopathic idiopathic scoliosis. Spine* 1991; 6: 560-565.

Synthèse :

Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports (2007)

La pratique des activités physiques et sportives chez l'adolescent présentant une scoliose idiopathique est en relation avec le type de courbure.

C. Meyer, T. Haumont, G. C. Gauchard, B. Leheup, P. Lascombes, Ph. P. Perrin

Résumé :

La scoliose idiopathique est associée à un déséquilibre rachidien et à des troubles du contrôle postural, lequel est important pour la performance des activités physiques et sportives. Cependant le type de courbure scoliotique a des effets différents sur le contrôle postural en fonction de la courbure principale. Cent soixante neuf adolescentes présentant une scoliose idiopathique [scoliose double majeure : $n = 74$; scoliose à courbure principale unique : $n = 95$] et cent adolescentes contrôles appariées en âge ont complété un questionnaire épidémiologique sur les activités physiques et sportives, scolaires et extrascolaires. Les patientes présentant une scoliose double majeure pratiquent plus d'activités physiques et sportives que les scolioses à courbure principale unique. Les activités gymniques sont pratiquées en majorité dans tous les groupes, scoliotique et contrôle. Cependant les adolescentes pratiquant la gymnastique sont plus nombreuses dans le groupe des scolioses doubles majeures que dans le groupe à courbure principale unique et le groupe contrôle. Ceci pourrait-être lié au fait que les scolioses doubles majeures sont moins sujettes aux répercussions biomécaniques liées à la déformation rachidienne, conduisant à un meilleur contrôle de l'équilibre, ce qui est essentiel pour la pratique des activités physiques et sportives.

Sujets et Méthode :

Participants :

Cent soixante neuf adolescentes scoliotiques (âge moyen = $14,8 \pm 1,9$ ans) ont été incluses dans cette étude dont 129 traitées orthopédiquement par corset et 40 non traitées, faisant

l'objet d'une surveillance clinico-radiologique simple. Les patients ont été recrutés dans le service de Chirurgie Infantile Orthopédique du Centre Hospitalo-Universitaire de Nancy ainsi qu'au Centre de Rééducation et Réadaptation de Flavigny-sur-Moselle spécialisé dans la prise en charge des enfants. Les sujets contrôles appariés en âge ont été recrutés dans des écoles secondaires. L'absence de scoliose chez ces patients a été vérifiée par le service médical scolaire de l'établissement et par le rapport de la dernière consultation auprès du médecin de famille dans l'année écoulée.

Méthode :

Cette étude épidémiologique transversale a été effectuée pour évaluer les relations entre la pratique des activités physiques et sportives et le type de courbure scoliothique. Le questionnaire était composé de deux parties : la première complétée par les sujets scoliothiques et les sujets contrôles, s'intéressant à la détermination de leur statut biométrique, leurs activités physiques et sportives, scolaires et extrascolaires, considérant aussi le type et l'intensité de leur pratique. Cette évaluation des activités physiques et sportives s'est intéressé pour le groupe scoliothique à la période ayant précédé le diagnostic positif de scoliose. Pour une première analyse, les activités physiques et sportives ont été divisées en huit catégories en regard d'un texte du Ministère Français des Sports : *sports aquatiques* (natation...), *sports athlétiques* (course, lancer, saut...), *sports en couple* (tennis, badmington...), *sports extrêmes* (parapente...), *sports de combat* (judo, karaté...), *sports gymniques* (danse, gymnastique...), *activités physiques extérieures* (équitation, escalade, plongée...) et les *sports d'équipe* (football, volleyball, handball...). Pour une seconde analyse, les activités physiques et sportives ont été divisées en quatre catégories : *Activités physiques et sportives d'équilibre et symétriques* (certaines activités gymniques, judo, équitation...), *activités physiques et sportives bioénergétiques et symétriques* (natation, course...), *activités physiques et sportives d'équilibre et asymétriques* (lancers, certaines activités gymniques...), et les *activités physiques et sportives bioénergétiques et asymétriques* (handball, tennis, badminton...). Par ailleurs les activités physiques et sportives scolaires adhérant au programme de l'éducation nationale ont été considérées les mêmes pour les sujets scoliothiques et les sujets contrôles. La deuxième partie du questionnaire a été remplie par le chirurgien orthopédiste infantile ou le médecin de médecine physique et de réadaptation pour déterminer en particulier le type de courbure scoliothique: double majeure ou à courbure principale unique (lombaire, thoracolombaire ou lombaire).

Répartition des groupes :

Les scolioses idiopathiques ont donc été divisées en deux groupes : scolioses doubles majeures et scolioses à courbure principale unique. Soixante quatorze adolescentes (âge moyen : $14,5 \pm 2,0$ ans) présentaient une scoliose double majeure. Parmi elles 56 adolescentes étaient traitées orthopédiquement par corset (angle de Cobb entre 20 et 40°) et dix huit faisaient l'objet d'une surveillance simple clinico-radiographique (angle de Cobb entre 10 et 20°). On dénombrait quatre vingt quinze adolescentes avec une scoliose à courbure principale unique (âge moyen : $14,8 \pm 2,2$ ans). Parmi elles, soixante treize étaient traitées orthopédiquement par corset (angle de Cobb entre 20 et 40°) et vingt deux faisaient l'objet d'une surveillance simple clinico-radiographique (angle de Cobb entre 10 et 20°). Le groupe contrôle comprenait cent adolescentes (âge moyen : $15,2 \pm 2,1$ ans) recrutées dans des écoles de l'enseignement secondaire.

Résultats :

La distribution des activités physiques et sportives était hétérogène au sein de la population scoliotique, révélant une pratique plus fréquente des activités physiques et sportives dans le groupe des scolioses doubles majeures par rapport aux scolioses à courbure principale unique. Les activités physiques et sportives du groupe contrôle étaient intermédiaires entre celles des deux groupes scoliotiques sans différence significative entre le groupe des scolioses doubles majeures et les contrôles ni entre le groupe des scolioses à courbure principale unique et les contrôles. L'intensité des activités physiques et sportives extrascolaires n'était pas différente entre les deux groupes scoliotiques (moyenne : $1,7 \pm 0,4$ contre $1,7 \pm 0,3$ heures/semaine respectivement). En revanche le type d'activités physiques et sportives varie significativement entre les trois groupes : le nombre d'adolescentes pratiquant la gymnastique est plus important dans le groupe des scolioses doubles majeures (65,6%) que dans le groupe des scolioses à courbure principale simple (51,7%) et que dans le groupe de sujets contrôles (34,6%). Il est à noter également que le groupe des scolioses à courbure principale simple pratique moins d'activités physiques et sportives que les deux autres groupes.

Discussion :

Cette étude met donc en évidence que le groupe des scolioses doubles majeures pratique plus d'activités physiques et sportives que le groupe des scolioses à courbure principale unique. De plus la pratique des activités gymniques est plus importante dans le groupe des scolioses doubles majeures que dans le groupe des scolioses à courbure principale unique et que dans le groupe des sujets contrôles. L'étude décrite précédemment (Annexe 2) avait mis en évidence une laxité ligamentaire plus importante dans le groupe des scolioses que dans un groupe contrôle pouvant expliquer la pratique plus fréquente de la gymnastique et le développement de la scoliose à la période de l'adolescence. D'autre part, Gauchard et al. (Gauchard et al. 2001) ont montré que ces adolescentes avec scoliose double majeure disposaient d'un meilleur contrôle postural que les adolescentes avec scoliose à courbure principale unique et ceci tant lors des tests statiques que lors des tests dynamiques. Ainsi les adolescentes avec scoliose double majeure disposant d'une laxité ligamentaire accrue et d'un meilleur contrôle postural que les scolioses à courbure principale unique s'orientent logiquement vers les activités gymniques alors même que le diagnostic de scoliose n'est pas encore connu. Les auteurs de cette étude concluent que cette pratique sportive et les meilleures performances du contrôle postural pourraient être dues au meilleur équilibre biomécanique de la déformation rachidienne par rapport aux scolioses à courbure principale unique.

Annexe 4 : Communications à des congrès scientifiques

Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences – Fondation Cotrel

Paris – Octobre 2003

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

Avec la participation de J. Fairbank (Oxford), S. Viener-Vacher (Paris), N. Miller (Baltimore), W. Skalli (Paris), M. Machida (Tokyo), J. Cheng (Hong-Kong), A. Moreau (Montréal), J. Enouf (Paris), P. Mercier (Quebec), C. Wise (Dallas)

3^{ème} Journée d'étude du Groupe d'Analyse du Mouvement chez l'Enfant et chez l'Adulte (GAMEA)

Toulouse – Janvier 2004

Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural dans la scoliose idiopathique de l'adolescent.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

Société de Médecine de Nancy

Nancy – Avril 2004

Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural lors du dépistage précoce de la scoliose idiopathique de l'adolescent.

T. Haumont, G. Gauchard, C. Meyer, F. Beltramo, D. Fort, P. Perrin, P. Lascombes

Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences – Fondation Cotrel

Paris – Octobre 2004

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

79^{ème} Société Française de Chirurgie Orthopédique et Traumatologique

Paris – Novembre 2004

Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural lors du dépistage précoce de la scoliose idiopathique chez l'adolescent

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

**Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences –
Fondation Cotrel**

Paris – Octobre 2005

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

6th European Research Conférence in Pediatric Orthopaedics

Toulouse – Octobre 2006

Research of a posturographic predictive index of adolescent idiopathic scoliosis evolution

T. Haumont, C. Meyer, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

**Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences –
Fondation Cotrel**

Paris – Octobre 2006

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

**Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences –
Fondation Cotrel**

Paris – Octobre 2007

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

**Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences –
Fondation Cotrel**

Paris – Octobre 2008

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

**Réunion Scientifique Internationale – Institut de France – Académie des Sciences –
Fondation Cotrel**

Paris – Octobre 2009

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

9^{ème} Congrès de la Société Française d'Analyse de la Marche chez l'Enfant et chez l'Adulte (SOFAMEA)

Toulouse – Janvier 2010

Existe-t-il des paramètres posturographiques prédictifs de l'évolution d'une scoliose idiopathique ?

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

9^{ème} Congrès de la Société Française d'Analyse de la Marche chez l'Enfant et chez l'Adulte (SOFAMEA)

Toulouse – Janvier 2010

Scoliose idiopathique de l'adolescent : Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural au moment du diagnostic.

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

7th Européen Research Meeting in Pediatric Orthopaedics

Montpellier – Octobre 2010

Existe-t-il des paramètres posturographiques prédictifs de l'évolution d'une scoliose idiopathique ?

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

7th Européen Research Meeting in Pediatric Orthopaedics

Montpellier – Octobre 2010

Scoliose idiopathique de l'adolescent : Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural au moment du diagnostic.

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

42^{ème} Congrès du Groupe d'Etude de la Scoliose (GES)

La Baule – Mai 2010

Existe-t-il des paramètres posturographiques prédictifs de l'évolution d'une scoliose idiopathique ?

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

42^{ème} Congrès du Groupe d'Etude de la Scoliose (GES)

La Baule – Mai 2010

Existe-t-il des paramètres posturographiques prédictifs de l'évolution d'une scoliose idiopathique ?

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, G. Herpin, C. Meyer, P. Perrin, P. Lascombes

IRSSD International Research Society of Spinal Deformation

Montréal – Canada – Juillet 2010

Round Table : *Analysis of posture for the assessment & treatment of scoliosis*

Moderator: Carl-Eric Aubin, Canada

Panelists : Thierry Haumont, France

Virginie Lafage, USA

Pierre Roussouly, France

IRSSD International Research Society of Spinal Deformation

Montréal – Canada – Juillet 2010

Are there Posturographic Parameters, which Could Predict the Progression of Adolescent Idiopathic Scoliosis?

T. Haumont, G. Gauchard, A. Lion, P. Lascombes, P. Perrin

IRSSD International Research Society of Spinal Deformation

Montréal – Canada – Juillet 2010

Postural Control Instability in Early Detected Adolescent Idiopathic Scoliosis (Poster)

T. Haumont, G. Gauchard, P. Perrin, P. Lascombes

Annexe 5 : Prix

Lauréat de la Fondation Yves Cotrel – Institut de France – Académie des Sciences

Paris – 2002

Bourse de recherche sur l'étiopathogénie de la scoliose idiopathique – 115.500 €

Valeur pronostique du poids relatif des entrées sensorielles de la fonction d'équilibration dans le contrôle postural de l'adolescent porteur d'une scoliose idiopathique.

Prix de Recherche Fondamentale du Groupe d'Etude de la Scoliose (GES)

Bruxelles – 2004

Relation entre l'importance de la déformation rachidienne et les troubles du contrôle postural dans la scoliose idiopathique de l'adolescent.

Annexe 6 : Participation à des ouvrages scientifiques

Haumont T, G. G., Lion A, Lascombes P, Perrin P (2010)

Are there Posturographic Parameters, which Could Predict the Progression of Adolescent Idiopathic Scoliosis?

ISSN 978-1-60750-572-3 (Print), ISSN 978-1-60750-573-0 (Online)

Research into Spinal deformities 7 I. Press. Amsterdam, IOS Press. 158: p. 299.

Haumont T, G. G., Lion A, Lascombes P, Perrin P (2010)

Postural Control Instability in Early Detected Adolescent Idiopathic Scoliosis

ISSN 978-1-60750-572-3 (Print), ISSN 978-1-60750-573-0 (Online)

Research into Spinal deformities 7 I. Press. Amsterdam, IOS Press. 158: p. 227

Annexe 7 : Table des illustrations

<i>Figure 1 : Déformation tridimensionnelle du rachis définissant une scoliose (photo d'une pièce anatomique disséquée).....</i>	<i>15</i>
<i>Figure 2 : L'arbre torse du lyonnais Nicolas Andry devenu symbole des sociétés savantes d'orthopédie.....</i>	<i>16</i>
<i>Figure 3 : Exemple de traitement orthopédique de la scoliose décrit par Delpech à Montpellier en 1882.</i>	<i>17</i>
<i>Figure 4 : Vue supérieure de la coupe d'une 9^{ème} vertèbre thoracique d'une enfant de 6 ans et demi qui présentait une scoliose thoracique (convexe) droite. La figure montre le cartilage neurocentral ouvert du côté de la concavité et fermé du côté de la convexité, un pédicule plus long du côté de la concavité, ainsi qu'une trame osseuse plus dense (Nicoladoni 1904)</i>	<i>18</i>
<i>Figure 5 : Répercussion de la déformation vertébrale sur la cage thoracique (pénétration du côté convexe de la courbure du corps vertébral sans le champs pulmonaire homolatéral).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 6 : Répercussion de la déformation vertébrale sur la cage thoracique (verticalisation des côtes du côté de la convexité, horizontalisation des côtes du côté de la concavité).....</i>	<i>20</i>
<i>Figure 7 : Gibbosité d'une scoliose évoluée.....</i>	<i>23</i>
<i>Figure 8 : Asymétrie franche de la taille et discrète des épaules chez une adolescente présentant une scoliose évoluée.....</i>	<i>24</i>
<i>Figure 9 : Gibbosité thoracique très discrète d'une scoliose idiopathique infantile.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 10 : Asymétrie très discrète de la taille chez une enfant présentant une scoliose idiopathique infantile. On peut observer aussi chez cette enfant un déséquilibre droit du tronc.....</i>	<i>25</i>
<i>Figure 11 : Scoliose idiopathique infantile avec asymétrie et déséquilibre très importants du tronc.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 12 : Gibbosité importante d'une scoliose idiopathique infantile.....</i>	<i>26</i>
<i>Figure 13: Mesure de l'angle de Cobb sur la radiographie de face d'une scoliose idiopathique de l'adolescent. La méthode de Cobb consiste à déterminer les vertèbres les plus obliques aux parties supérieure et inférieure de la courbure. Des lignes perpendiculaires aux plateaux vertébraux de ces deux vertèbres sont tracées. L'angle entre ces deux lignes constitue l'angle de Cobb (Cobb 1948).....</i>	<i>28</i>
<i>Figure 14 : Ossification de la crête iliaque (test de Risser). L'ossification débute au niveau de l'épine iliaque antéro-supérieure et progresse vers l'arrière.(Guillaumat 2000)</i>	<i>29</i>

<i>Figure 15: Différents types topographiques de scoliose idiopathique sur la radiographie de face dans le plan frontal. De gauche à droite : scoliose thoracique ; scoliose thoraco-lombaire ; scoliose lombaire ; scoliose double majeure.....</i>	<i>30</i>
<i>Figure 16 : Diagramme de Madame Duval-Beaupère montrant l'évolution de l'angulation scoliotique (angle de Cobb) en fonction de l'âge tout au long de la croissance d'un enfant scoliotique non traité. La courbe discontinue représente, pour un même enfant, la vitesse de croissance en fonction de l'âge.(Guillaumat 2000).</i>	<i>34</i>
<i>Figure 17 : Les stades de maturation sexuelle (selon Tanner) (Guillaumat 2000).....</i>	<i>35</i>
<i>Figure 18 : Plate-forme Toennies (Toennies GmbH, Freiburg, Allemagne) utilisée pour les tests statiques et dynamiques avec oscillations lentes du plateau.....</i>	<i>49</i>
<i>Figure 19 : Statokinésigramme d'une adolescente du groupe II. Les deux figures de gauche illustrent la mesure du paramètre longueur de déplacement du centre de pression des pieds. Les deux figures de droite illustrent la mesure de la surface dans laquelle se déplace le centre de pression des pieds. Les deux figures supérieures illustrent les mesures de longueur parcourue et de surface couverte par le centre de pression des pieds en condition yeux ouverts et les deux inférieures en condition yeux fermés.</i>	<i>51</i>
<i>Figure 20 : Mouvements d'oscillation lents imposés dans le plan sagittal par la plate-forme Toennies (4° d'amplitude - 0,5 Hertz)</i>	<i>53</i>
<i>Figure 21 : Stabilogramme mettant en évidence une stratégie de type I chez une adolescente du groupe I. Tracés obtenus en condition yeux ouverts.</i>	<i>55</i>
<i>Figure 22 : Stabilogramme mettant en évidence une stratégie de type II chez une adolescente du groupe II. Tracés obtenus en condition yeux ouverts.....</i>	<i>56</i>
<i>Figure 23 : Cabine Equitest® (Neurocom®, Clackamas, Oregon, USA) utilisée pour les tests d'organisation sensorielle.</i>	<i>58</i>
<i>Figure 24 : Deux plate-formes de force couplées sur support qui peut être fixe ou mobile (EquiTest®).....</i>	<i>59</i>
<i>Figure 25 : 6 conditions des tests d'organisation sensorielle sur plateforme Equitest®: Lors des trois premières conditions la plate-forme est fixe, le patient ayant successivement les yeux fermés (condition 1), les yeux ouverts (condition 2) et la vision asservie à ses propres mouvements (condition 3). Lors des trois dernières conditions, la plate-forme est asservie aux mouvements du patient, le patient ayant successivement les yeux fermés (condition 4), les yeux ouverts (condition 5) et la vision asservie à ses propres mouvements (condition 6).</i>	<i>61</i>
<i>Figure 26 : Exemple de rapport des tests d'organisation sensorielle sur plateforme Equitest® pour une adolescente présentant une scoliose idiopathique du groupe I: (a) Représentation des scores d'équilibre (de 0 à 100) dans les 6 conditions du score d'équilibre composite – (b) Représentation des ratios somesthésique (R^{SOM}), visuel (R^{VIS}) and vestibulaire (R^{VEST}) et de préférence visuelle (R^{PREF}) – (c) Représentation des scores de stratégie (dominance de hanche ou de cheville).</i>	<i>62</i>

Figure 27 : Résultats des tests d'organisation sensorielles (TOS) : résultats moyennés avec déviation standard des score d'équilibre (SE) pour les 6 conditions (C1, C2, C3, C4, C5 and C6) et pour le score composite C et du score composite (C) (Graphe A) et des ratios (graphe B) pour les deux groupes de patients (Group I: angle de Cobb de 5° à 14°; Group II: angle de Cobb de 15° à 25°). *P < 0,05; **P < 0,01; ***P < 0,001; ¹P < 0,1. 68