

## Tema 2 Deformidades da Coluna Vertebral e Prática Desportiva Precoce – Parte 2/2

Dr. Diogo Moura<sup>1</sup>, Dr. Marcel Sincari<sup>2</sup>, Prof. Doutor J. Goyri-O'Neill<sup>3</sup>, Prof. Doutor Fernando Fonseca<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Médico interno complementar de Ortopedia e Traumatologia do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra; <sup>2</sup>Monitor de Anatomia da NOVA Medical School/FCM, UNL; <sup>3</sup>Especialista em Neurocirurgia; <sup>4</sup>Professor Catedrático Diretor do Departamento de Anatomia da NOVA Medical School/FCM, UNL; <sup>5</sup>Diretor do Serviço de Ortopedia e Traumatologia do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra.

### RESUMO / ABSTRACT

A popularidade e evolução do desporto em geral têm levado a que a sua prática intensiva tenha início mais precoce e seja cada vez mais frequente em crianças e adolescentes. Atualmente a causa multifatorial é a mais aceite para a origem das deformidades da coluna, havendo alguma evidência científica que defende que a compressão ou carga nas placas de crescimento dos corpos vertebrais atrasa o seu crescimento, enquanto, por sua vez, a distração o acelera. Alguns desportos que incluem movimentos de torção e posturas, com angulações importantes da coluna, poderão provocar repetidas cargas assimétricas nas placas de crescimento dos corpos vertebrais, levando ao desenvolvimento de alterações estruturais ósseas progressivas em acunhamento e a deformidades da coluna vertebral. Poderá ser possível através da adaptação do tipo, duração e frequência de cargas aplicadas sobre a coluna durante a fase de crescimento esquelético, planeando atividades que respeitem os princípios do crescimento normal da coluna vertebral, prevenir o desenvolvimento e progressão e mesmo criar tratamentos mais eficazes das deformidades da coluna vertebral.

*Sports popularity and evolution have determined that its intensive practice begin earlier and became more frequent in kids and adolescents. Currently multi-factorial etiology is the most accepted for spine deformities origin and there is some scientific evidence that supports that compression or loading at vertebral bodies end plates retards its growth while distraction accelerates it. According to this principle, some sports that include torsion movements and postures that require important spine angulations can lead to repeated asymmetrical loading of vertebral bodies end plates and consequently to structural progressive wedging bone modifications and development of spine deformities. Therefore, it may be possible, by adjusting the type, duration and frequency of loads applied to the spine during skeletal growth and by designing activities that respect normal spine growth principles, to prevent the development and progression and even to create more efficient treatments for spine deformities.*

### PALAVRAS-CHAVE / KEYWORDS

Deformidade, coluna vertebral, desporto, escoliose, cifose, crianças, carga.  
*Deformity, vertebral column, spine, sports, scoliosis, kyphosis, children, load.*

de deformidades ósseas adaptativas que se podem tornar patológicas.<sup>5-9</sup> A forma como a atividade física intensiva afeta o desenvolvimento da coluna vertebral e o seu papel na formação de deformidades da mesma está ainda pouco definida.<sup>1,10-12</sup>

### Biomecânica das deformidades da coluna vertebral

A maioria das deformidades da coluna vertebral têm causa desconhecida (idiopática) e são consideradas das doenças mais complexas do aparelho locomotor, tendo sido objeto de várias teorias em relação à sua origem. Atualmente aceita-se a sua etiologia multifatorial e a interação entre fatores ambientais (biomecânicos, posturais, neuromusculares, traumático) e fatores genéticos (défice de melatonina, crescimento da medula, defeitos de proprioção) na sua origem.<sup>13,11-20</sup>

A associação entre deformidades da coluna e o crescimento da coluna vertebral é motivo de discussão desde há mais de 100 anos.<sup>19</sup> A causa mecânica por cargas assimétricas repetidas sobre a coluna em crescimento tem sido um tema muito investigado, apresentando ainda alguma controvérsia.<sup>13</sup> A coluna vertebral em desenvolvimento é influenciada pela força da gravidade, pela tração muscular, por cargas axiais repetidas e por movimentos de torção do corpo.<sup>21</sup> A gravidade tem um efeito importante sobre a coluna, como se pode verificar pela estatura superior até 2.5cm de manhã em comparação com o final do dia devido à ação das forças axiais compressivas sobre a coluna ao longo do dia, e pela constatação dos astronautas ficarem até 7.5cm mais altos ao abandonarem a força de gravidade terrestre.<sup>22-24</sup> Além disso, a coluna vertebral óssea isolada não conseguiria suportar axialmente um peso superior a 10Kg sem colapsar, o que demonstra a importância fulcral da estabilidade e do equilíbrio proporcionados pelo sistema neuromuscular que lhe está associado.<sup>25</sup> Vários estudos experimentais comprovaram que a carga axial compressiva sobre a coluna vertebral em fase de maturação esquelética modula o seu crescimento de acordo com o

### Atividade física e deformidades da coluna vertebral

A popularidade e evolução do desporto têm levado a que a sua prática intensiva e de competição tenha início mais precoce e seja cada vez mais frequente em crianças e adolescentes.<sup>1-4</sup> É conhecido que a atividade física influencia os processos de ossificação e o fortalecimento muscular e que a prática desportiva intensiva em fase de imaturidade esquelética, ao exigir a repetição intensiva e monótona de determinados exercícios específicos, pode conduzir ao desenvolvimento

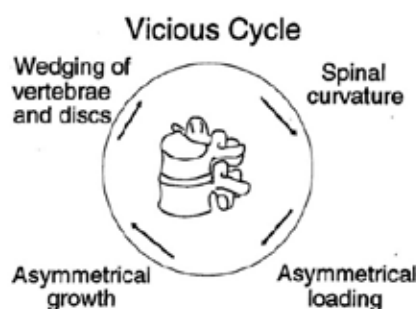


Fig. 1 – Uma curvatura da coluna causa uma carga assimétrica nas vértebras e discos, causando crescimento assimétrico, resultando no acunhamento das vértebras e discos, isto agrava a carga assimétrica e resulta num ciclo vicioso de escoliose progressiva.<sup>29</sup>

**princípio de Heuter-Volkman:** o grau de crescimento axial da placa de crescimento é inversamente proporcional ao stress mecânico ou pressão aplicados sobre a mesma, sendo que o aumento de pressão inibe o seu crescimento (verifica-se redução do número de condrócitos nas zonas de proliferação e hipertrófica da placa de crescimento), enquanto a diminuição da pressão o acelera.<sup>10,20,26-33</sup> Desta maneira, as cargas axiais verticais assimétricas produzidas pelos músculos paravertebrais ao longo da coluna vertebral podem criar um desequilíbrio de forças mantido através desta, que conduz a um crescimento assimétrico das placas de crescimento dos corpos vertebrais, deformação em acunhamento dos mesmos e a desenvolvimento de curvatura vertebral anormal. Por sua vez, esta deformidade inicial vai favorecer e acentuar as cargas assimétricas (ou seja, desviadas em relação ao centro dos restantes corpos vertebrais), o que cria um ciclo vicioso de modulação biomecânica do crescimento ósseo endocondral da coluna vertebral (Figura 1), conduzindo ao acentuar contínuo da deformidade (ou seja, cargas assimétricas são causa e efeito). As cargas sobre uma coluna deformada vão provocar mais compressão no lado côncavo da curva, o que atrasa o seu crescimento, e distração sobre o lado convexo, o que estimula o seu crescimento, agravando assim

a deformidade da coluna e perpetuando o ciclo.<sup>10,13,26,29,34-39</sup> No fundo, este modelo é uma demonstração da clássica **lei de Wolff**, que indica que a função determina a morfologia, isto é, o osso é reestruturado e remodelado de acordo com a sua função (direção e intensidade de forças mecânicas a que está sujeito), sofrendo alterações morfológicas adaptativas de modo a resistir mais eficientemente às cargas.<sup>40</sup> Apesar de várias causas poderem ser responsáveis pela criação de desequilíbrio músculo-ligamentar ao longo da coluna, independentemente desta origem (se congénita, neuromuscular, traumática ou outros), o ciclo de desequilíbrio biomecânico vai ser predominante e tornar-se o principal responsável pelo agravamento da deformidade iniciada.<sup>13,26</sup> Alguns autores sugerem que são os diferentes padrões de ativação neuromuscular que cada indivíduo apresenta como resposta a uma deformidade inicial que, ao serem responsáveis pela simetria ou assimetria das cargas axiais sobre as placas de crescimento, vão determinar a evolução mais ou menos rápida da curva.<sup>1,5,41</sup>

O objetivo geral do tratamento com colete na coluna em crescimento é de precisamente através de forças exteriores prevenir a progressão da deformidade ao procurar corrigir o ciclo de cargas e crescimento assimétricos.<sup>13,42-46</sup> Poderá também ser possível através de programas de

reabilitação personalizados reeducar padrões de ativação neuromuscular e assim corrigir as cargas assimétricas, controlando mecanicamente o crescimento simétrico da coluna e evitando a progressão ou mesmo corrigindo a deformidade.<sup>13,26,27,47</sup>

O **grau de progressão da curva** de deformidade é muito variável de indivíduo para indivíduo e parece estar relacionado com a amplitude da curva, com a porção da coluna vertebral envolvida e com a idade fisiológica da criança, admitindo-se também alguma influência genética.<sup>1,15</sup> As crianças com idade fisiológica mais reduzida ou aquelas com puberdade tardia, por terem mais tempo de crescimento e de suscetibilidade da coluna imatura, são aquelas cujas deformidades têm mais tendência a progredir e a agravar-se.<sup>1,13,48-52</sup> O hipoestrogenismo, que pode ser provocado pelo stress físico e psicológico, restrições dietéticas, perda de peso, entre outros, situações frequentes nas raparigas desportistas de alto nível, conduz muitas vezes ao crescimento lento e menarca e maturação tardias, o que implica um maior período de suscetibilidade da coluna imatura a cargas assimétricas e favorece o desenvolvimento de deformidades, que são mais frequentes no sexo feminino.<sup>4,12,20,53-55</sup>

A idade fisiológica é medida pelos **estádios de Risser**, que avaliam o grau de maturidade esquelética

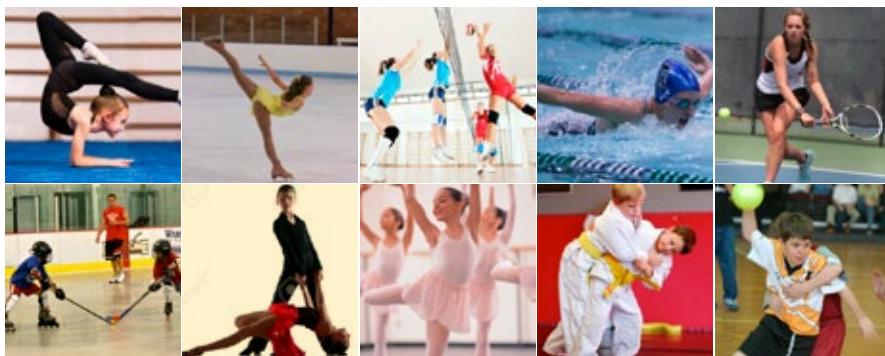


Figura 2 – Movimentos de angulação e torção da coluna vertebral durante a prática desportiva.

através do nível de ossificação e fusão das apófises da crista ilíaca.<sup>1</sup> Os pacientes com imaturidade esquelética (estádios 0 e 1 de Risser) e curvas entre 20 e 30 graus têm 65% de risco de progressão, enquanto os de estádios 2 a 4 têm cerca de 20% de risco de agravamento da deformidade.<sup>1,56</sup> Os pacientes com coluna imatura e curva superior a 30 graus têm risco de progressão entre 70% e 90%. As curvas superiores a 40 graus podem diminuir a capacidade vital e afetar a função respiratória.<sup>2</sup> O desenvolvimento de deformidades e a maior progressão de curvas ocorrem mais frequentemente nos **picos de crescimento**, provavelmente devido a ativações neuromusculares assimétricas e alterações na estabilidade biomecânica nestas fases de maior velocidade de crescimento, o que explica a maior frequência da escoliose infantil (até aos 2-3 anos) e do adolescente (acima dos 10 anos), em comparação com a juvenil (entre os 4 e 9 anos).<sup>41,48</sup> Isto também justifica a maior frequência de deformidades da coluna nos indivíduos com pico de crescimento mais elevado, isto é, que crescem mais rapidamente num período de tempo relativamente curto, aumentando a probabilidade de aparecimento de assimetrias neuromusculares e biomecânicas na coluna. As curvas de maior dimensão e as curvas torácicas duplas têm risco superior de progressão em comparação com as curvas pequenas, lombares e únicas.<sup>57</sup> A deformidade tende a progredir durante a fase de crescimento da coluna, que termina na maturidade esquelética com a ossificação das placas de crescimento. Apesar disto, a evolução da curva pode continuar no indivíduo com maturidade esquelética devido a degeneração discal e

osteocondral, mas de forma muito mais lenta, de apenas 1 a 2 graus por ano.<sup>2,19</sup>

### Deformidades da coluna vertebral e prática desportiva precoce

Os desportos que implicam mais movimentos de torção e posturas ou movimentos com angulações importantes do tronco, tais como ginástica, natação, ténis, voleibol, andebol, hóquei, artes marciais, danças, patinagem artística, ciclismo, remo, desportos de lançamentos, desportos de saltos (Figura 2) provocam cargas axiais assimétricas repetidas sobre a coluna vertebral. A prática intensiva destes desportos ao longo de alguns anos na fase de imaturidade esquelética e crescimento pode favorecer um crescimento longitudinal assimétrico das placas de crescimento dos corpos vertebrais e o consequente desenvolvimento de deformidades estruturais da coluna.<sup>2,4,10,12,39,58-70</sup>

Wojtys EM et al.<sup>39</sup> analisaram 2270 crianças entre os 8 e 18 anos e verificaram que as cifoses torácicas mais acentuadas se verificavam nos **ginastas**, seguidos dos praticantes de futebol americano, hóquei, natação e wrestling, e que apresentavam uma correlação positiva com o tempo cumulativo de prática desportiva, em particular naqueles em que esta ultrapassava as 400 horas por ano (prática intensiva). Por sua vez, as curvas mais pequenas foram mais frequentes nas crianças que não praticavam qualquer desporto. Tanchev PI et al.<sup>12</sup> estudaram 100 raparigas praticantes de ginástica rítmica e identificaram uma incidência de escoliose mais de 10 vezes superior nas ginastas

em comparação com a população geral da mesma faixa etária (12% vs 1.1%), defendendo a existência de uma tríade de risco nestas crianças: hiperlaxidez articular generalizada (fator hereditário), menarca e maturidade esquelética tardias e cargas assimétricas repetidas sobre a coluna vertebral imatura. Apesar disto, Meyer C. et al.<sup>71</sup> defendem que a maior prevalência de escolioses entre as crianças praticantes de ginástica se deve à hiperlaxidez articular e não ao desporto em si. Afirmando que a hiperlaxidez é um fator de risco para desenvolver escoliose e que estas crianças, pela sua maior mobilidade articular e facilidade em praticar ginástica, acabam por se selecionar e praticar mais frequentemente este desporto.

McMaster ME et al.<sup>72</sup> identificaram como fator de risco de desenvolvimento de escoliose do adolescente a prática de **natação** em piscinas interiores por crianças com idade inferior a 1 ano. Outro estudo, com uma amostra de 112 adolescentes nadadores de competição, demonstrou riscos superiores de assimetrias do tronco (odds ratio 1.86), de hipercifose (odds ratio 2.26) e de hiperlordose (odds ratio 2.24) em comparação com um grupo de controlos não desportistas.<sup>73</sup> Os estudos de Becker TJ<sup>60</sup> e de Meliscki et al.<sup>64</sup> demonstraram em nadadores que as curvas de escoliose ocorreram mais na direção da mão dominante e para o lado oposto ao que os atletas mais elevavam a cabeça para respirar.

Conclusões semelhantes em relação à direção da curva e da mão dominante foram obtidas para as escolioses no **voleibol**, o que pode ser explicado pelas cargas assimétricas sobre a coluna vertebral provocadas pelos movimentos do tronco típicos dos desportos de uso unilateral predominante do membro dominante, tornando-os provavelmente desportos de risco para desenvolvimento de deformidades da coluna.<sup>12,63,74</sup> Modi H et al.<sup>74</sup> verificaram numa amostra de 116 adolescentes praticantes de voleibol que estes apresentavam 5 vezes mais risco de escoliose em comparação com controlos não atletas (5.2% vs 1%). Warren MP et al.<sup>53</sup> estudaram 75 praticantes de ballet profissional com uma média de idades de 24.3 anos e verificaram



que 24% apresentavam escolioses, o que é significativamente superior à frequência na população geral.

A prevalência de **dançarinos** com menarca tardia e amenorreia secundária foi elevada e mais frequente nos pacientes com escolioses em comparação com os que não tinham deformidades da coluna (83% e 44% vs 54% e 31%, respetivamente). Estes dados apoiam que o desenvolvimento de deformidades da coluna está associado a cargas assimétricas típicas deste desporto durante um período de suscetibilidade da coluna imatura mais prolongado, típico do hipoestrogenismo, sendo que o risco de desenvolver escoliose aumenta com o aumento da idade da menarca. Por sua vez, Longworth B et al.<sup>75</sup> verificaram que quase um terço das adolescentes dançarinas de ballet da sua amostra apresentaram escoliose, demonstrando assim 12.4 vezes mais risco de desenvolver deformidade da coluna em comparação com controlos não dançarinos.

Apesar destes dados, não existe atualmente evidência científica suficiente para afirmar que um desporto particular possa causar ou contribuir para o desenvolvimento de deformidades da coluna.<sup>4,21,58,76,77</sup> Em contrapartida, considera-se que o exercício físico recreativo ou amador a nível moderado é importante para o desenvolvimento normal da coluna vertebral, do esqueleto e da criança em geral.<sup>39,78,79</sup> Alguns autores referem mesmo que a prática controlada de determinados desportos deve ter um papel no tratamento conservador das deformidades vertebrais, na medida em que pode potenciar a estabilização neuromuscular da coluna e assim contribuir para diminuir a progressão das curvas.<sup>1,2,21,58,62,66,76,81-83</sup> No entanto, é atualmente consensual que um desporto que envolve angulações e torções do tronco praticado a nível competitivo não é recomendado perante atletas com elevado risco de progressão da deformidade.<sup>84</sup> Admite-se que o exercício físico pode ser ao mesmo tempo um fator de risco e um fator protetor em relação ao desenvolvimento e progressão de deformidades da coluna vertebral, dependendo de fatores tais como tipo de desporto, nível ligeiro, moderado ou intensivo

de prática desportiva, volume de treinos, características biomecânicas da postura e simetria dos movimentos, entre outros.<sup>58,76,85</sup>

## Conclusões

A literatura científica sugere que algumas deformidades estruturais da coluna vertebral adquiridas durante o crescimento podem estar relacionadas com a prática intensiva de desportos que envolvem cargas axiais assimétricas sobre a coluna numa fase de maturação esquelética. Face a estes resultados, deve refletir-se sobre os riscos deste tipo de exercícios em crianças e adolescentes, podendo a adaptação do tipo, duração e frequência de cargas aplicadas sobre a coluna vertebral ser importante na prevenção do desenvolvimento de deformidades. São necessários estudos prospetivos comparativos e aleatorizados de modo a se poderem desenvolver estratégias de prevenção destas deformidades, nomeadamente através do planeamento de atividades que respeitem os princípios do crescimento e desenvolvimento normal da coluna vertebral, e assim evitar potenciais situações de espondiloartrose secundária e dor crónica precoces. O aumento da evidência científica acerca do papel da modulação biomecânica na progressão e mesmo na origem das deformidades da coluna vertebral poderá também contribuir para o desenvolvimento de estratégias terapêuticas personalizadas que permitam corrigir as cargas assimétricas sobre as placas de crescimento e assim evitar a progressão e mesmo corrigir a deformidade.

Os autores declaram a não existência de conflitos de interesse.

Correspondência para

Diogo Moura  
Ortopedia e Traumatologia do Centro Hospitalar e Universitário de Coimbra  
dfmoura@gmail.com

## Bibliografia

- Schiller JR, Eberson CP. *Spinal deformity and athletics*. Sports Med Arthrosc. 2008; 16(1):26-31.

- Gielen J, Eede E. *Scoliosis and sports participation*. International SportMed Journal. 2008; 9(3):131-140.
- Omey ML, Micheli LJ, Gerbino PG II. *Idiopathic scoliosis and spondylolysis in the female athlete. Tips for treatment*. Clin Orthop Relat Res. 2000; 372:74-84.
- Stošić D, Milenković S, Živković D. *The influence of sport on the development of postural disorders in athletes*. Physical Education and Sport, Special Issue, 2011; 9(4):375-384.
- Moura D, Figueiredo A, O'Neill J, Fonseca F. *Prática Desportiva Precoce e Deformidades da Anca*. Rev. Medicina Desportiva Informa, 2015, 6(5):12-15.
- Caine D, Howe W, Ross W, et al: *Does repetitive physical loading inhibit radial growth in female gymnasts?* Clin J Sport Med 1997; 7:302-308.
- Li KC, Zernicke RF, Barnard RJ, et al: *Differential response of rat limb bones to strenuous exercise*. J Appl Physiol. 1991; 70: 554-560.
- Matsuda JJ, Zernicke RF, Vailas AC, et al: *Structural and mechanical adaptation of immature bone to strenuous exercise*. J Appl Physiol, 1986; 60: 2028-2034.
- Agricola R, Heijboer MP, Ginai AZ, et al. *A cam deformity is gradually acquired during skeletal maturation in adolescent and young male soccer players: a prospective study with minimum 2-year follow-up*. Am J Sports Med, 2014; 42:798-806.
- Stokes IA, Spence H, Aronsson DD, et al. *Mechanical modulation of vertebral body growth. Implications for scoliosis progression*. Spine. 1996; 21:1162-1167.
- Potoupnis ME, Kenanidis E, Papavasiliou KA, Kapetanios GA. *The role of exercising in a pair of female monozygotic (high-class athletes) twins discordant for adolescent idiopathic scoliosis*. Spine (Phila Pa 1976). 2008; 33(17):E607-10.
- Tanchev PI, Dzherov AD, Parushev AD, Dikov DM, Todorov MB. *Scoliosis in rhythmic gymnasts*. Spine (Phila Pa 1976). 2000; 25(11):1367-72.
- Hawes MC, O'Brien JP. *The transformation of spinal curvature into spinal deformity: pathological processes and implications for treatment*. Scoliosis. 2006; 31:1(1):3.
- Burwell RG. *Aetiology of idiopathic scoliosis: current concepts*. Pediatr Rehabil. 2003; 6(3-4):137-70.
- Gorman KF, Breden F. *Idiopathic-type scoliosis is not exclusive to bipedalism*. Med Hypotheses. 2009; 72(3):348-52.
- Lowe TG, Edgar M, Margulies JY, Miller NH, Raso VJ, Reinker KA, Rivard CH. *Etiology of idiopathic scoliosis: current trends in research*. J Bone Joint Surg Am. 2000; 82-A(8):1157-68.
- Miller NH. *Idiopathic scoliosis: cracking the genetic code and what does it mean?* J Pediatr Orthop. 2011; 31(1 Suppl):S49-52.
- Porter RW. *The pathogenesis of idiopathic scoliosis: uncoupled neuro-osseous growth?* Eur Spine J. 2001; 10(6):473-81.
- Veldhuizen AG, Wever DJ, Webb PJ. *The aetiology of idiopathic scoliosis: biomechanical and neuromuscular factors*. Eur Spine J. 2000; 9(3):178-84.

Restante Bibliografia em:  
www.revdesportiva.pt (A Revista Online)

20. Harrington PR. *The etiology of idiopathic scoliosis*. Clin Orthop 1977; 126: 17-25.
21. Halal F, Gledhill RB, Fraser C. *Dominant inheritance of Scheuermann's juvenile kyphosis*. Am J Dis Child. 1978; 132:1105-1107.
22. Beauchamp M, Labelle H, Grimard G, Stanciu C, Poitras B, Dansereau J. *Diurnal variation of Cobb angle measurement in AIS*. Spine. 1993; 18:1581-1583.
23. Zetterberg C, Hansson T, Lidstrom J, Irstam L, Andersson G. *Postural and time dependent effects on body height and scoliosis angle in AIS*. Acta Orthop Scand. 1983; 54:836-840.
24. Wing P, Tang I, Gagnon F, Susak L, Gagnon R. *Diurnal changes in the profile shape and range of motion of the back*. Spine. 1992; 17:761-766.
25. Stokes IAF, Gardner-Morse MG. *Spinal stiffness increases with axial load: another stabilizing consequence of muscle action*. J Electromyography and Kinesiology. 2003; 13:397-402.
26. Stokes IA, Burwell RG, Dangerfield PH; IBSE. *Biomechanical spinal growth modulation and progressive adolescent scoliosis--a test of the 'vicious cycle' pathogenetic hypothesis: summary of an electronic focus group debate of the IBSE*. Scoliosis. 2006; 1:16.
27. Aronsson DD, Stokes IA, Rosovsky J, Spence H. *Mechanical modulation of calf tail vertebral growth: implications for scoliosis progression*. J Spinal Disord. 1999; 12(2):141-6.
28. Stokes IA, Gwadera J, Dimock A, Farnum CE, Aronsson DD. *Modulation of vertebral and tibial growth by compression loading: diurnal versus full-time loading*. J Orthop Res. 2005; 23(1):188-95.
29. Stokes IA, Aronsson DD, Dimock AN, Cortright V, Beck S. *Endochondral growth in growth plates of three species at two anatomical locations modulated by mechanical compression and tension*. J Orthop Res. 2006; 24(6):1327-34.
30. Hamill O. *Special topic: molecular mechanisms of mechanotransduction*. Annu Rev Physiol. 1997; 5:573-574.
31. Stokes IA, Clark KC, Farnum CE, Aronsson DD. *Alterations in the growth plate associated with growth modulation by sustained compression or distraction*. Bone. 2007; 41(2):197-205.
32. Stokes IA, Mente PL, Iatridis JC, Farnum CE, Aronsson DD. *Enlargement of growth plate chondrocytes modulated by sustained mechanical loading*. J Bone Joint Surg Am. 2002; 84-A(10):1842-8.
33. Stokes IA, Mente PL, Iatridis JC, Farnum CE, Aronsson DD. *Growth plate chondrocyte enlargement modulated by mechanical loading*. Stud Health Technol Inform. 2002; 88:378-81.
34. Mente PL, Stokes IA, Spence H, Aronsson DD. *Progression of vertebral wedging in an asymmetrically loaded rat tail model*. Spine (Phila Pa 1976). 1997 Jun 15;22(12):1292-6.
35. Stokes IA. *Mechanical modulation of spinal growth and progression of adolescent scoliosis*. Stud Health Technol Inform. 2008; 135:75-83.
36. Storey E, Feik SA. *Remodelling of bone and bones: effects of altered mechanical stress on caudal vertebrae*. Journal of Anatomy. 1985; 140(Pt 1):37-48.
37. Villemure I, Aubin CE, Dansereau J, Labelle H. *Biomechanical simulations of the spine deformation process in adolescent idiopathic scoliosis from different pathogenesis hypotheses*. European Spine Journal. 2004;13(1):83-90.
38. Revel M, Andre-Deshays C, Roudier R, et al: *Effects of repetitive strains on vertebral end plates in young rats*. Clin Orthop. 1992; 279: 303-309.
39. Wojtys EM, Ashton-Miller JA, Huston LJ, Moga PJ. *The association between athletic training time and the sagittal curvature of the immature spine*. Am J Sports Med. 2000; 28(4):490-8.
40. Frost HM. *Wolff's Law and bone's structural adaptations to mechanical usage: an overview for clinicians*. Angle Orthod. 1994; 64:175-188.
41. Stokes IAF, Gardner-Morse MG. *Muscle activation strategies and spinal loading in the lumbar spine with scoliosis*. Spine. 2004; 29:2103-2107.
42. Negrini S, Donzelli S, Lusini M, Minnella S, Zaina F. *The effectiveness of combined bracing and exercise in adolescent idiopathic scoliosis based on SRS and SOSORT criteria: a prospective study*. BMC Musculoskelet Disord. 2014; 15:263.
43. Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG, Dobbs MB. *Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis*. N Engl J Med. 2013; 369(16):1512-21.
44. Coillard C, Vachon V, Circo AB, Beauséjour M, Rivard CH. *Effectiveness of the SpineCor brace based on the new standardized criteria proposed by the scoliosis research society for adolescent idiopathic scoliosis*. J Pediatr Orthop. 2007; 27(4):375-9.
45. Harrington P: *Is scoliosis reversible? In vivo observations of reversible morphological changes in the production of scoliosis in mice*. Clin Orthop and Rel Res 1976; 116:103-111.
46. Hakkarainen S. *Experimental scoliosis: production of structural scoliosis by immobilization of young rabbits in a scoliotic position*. Acta Orthop Scand Suppl. 1981; 192:1-57.
47. Maruyama T, Kitagawa T, Takeshita K, Mochizuki K, Nakamura K. *Conservative treatment for AIS: can it reduce the incidence of surgical treatment? Pediatric Rehabilitation*. 2003; 6:215-219.
48. Sarwark J, Aubin CE. *Growth considerations of the immature spine*. J Bone Joint Surg Am. 2007; 89 Suppl 1:8-13.
49. Dimeglio A. *Postnatal spine growth and development*. The growing spine, in Pediatric Orthopaedic Society of North America Specialty Day 2007. San Diego, CA, 2007.
50. Little DG, Song KM, Katz D, Herring JA. *Relationship of peak height velocity to other maturity indicators in idiopathic scoliosis in girls*. J Bone Joint Surg Am. 2000; 82(5):685-93.
51. Wever DJ, Tønseth KA, Veldhuizen AG, Cool JC, van Horn JR. *Curve progression and spinal growth in brace treated idiopathic scoliosis*. Clin Orthop Relat Res. 2000; (377):169-79.
52. Herrera-Soto J, Crawford A. *Idiopathic scoliosis in children and adolescents: diagnosis and treatment options*. Ped Health 2008; 2:89-98.
53. Warren MP, Brooks-Gunn J, Hamilton LH, Warren LF, Hamilton WG. *Scoliosis and fractures in young ballet dancers. Relation to delayed menarche and secondary amenorrhea*. N Engl J Med. 1986; 314(21):1348-53.
54. Stirling AJ, Howel D, Millner PA, Sadiq S, Sharples D, Dickson RA. *Late-onset idiopathic scoliosis in children six to fourteen years old. A cross-sectional prevalence study*. J Bone Joint Surg Am. 1996; 78(9):1330-6.
55. Burwell RG, Dangerfield PH. *The NOTOM hypothesis for idiopathic scoliosis: is it nullified by the delayed puberty of female rhythmic gymnasts and ballet dancers with scoliosis?* Stud Health Technol Inform. 2002; 91:12-4.
56. Lonstein JE, Carlson JM. *The prediction of curve progression in untreated idiopathic scoliosis during growth*. J Bone Joint Surg Am. 1984; 66:1061-1071.
57. Katz DE, Richards BS, Browne RH, et al. *A comparison between the Boston brace and the Charleston bending brace in adolescent idiopathic scoliosis*. Spine. 1997; 22:1302-1312.
58. Jandric S; *Scoliosis and sports*; SportLogia; 2015; 11(1):1-10.
59. Murray DW, Bulstrode CJ. *The development of adolescent idiopathic scoliosis*. Eur Spine J. 1996; 5(4):251-7.
60. Becker TJ. *Scoliosis in swimmers*. Clin Sports Med. 1986; 5(1):149-58.
61. Hellstrom M, Jacobsson B, Sward L, et al. *Radiologic abnormalities of the thoraco-lumbar spine in athletes*. Acta Radiol. 1990; 31:127-132.
62. Meyer C, Haumont T, Gauchard GC, Leheup B, Lascombes P, Perrin PP. *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(6):751-5.
63. Grabara M, Hadzik A; *Postural variables in girls practicing volleyball*; Biomedical Human Kinetics. 2009; 1:67-71.
64. Meliscki, Gustavo Antonio, Monteiro, Luciana Zaranza, & Giglio, Carlos Alberto. *Avaliação postural de nadadores e sua relação com o tipo de respiração. Fisioterapia em Movimento*; 2011; 24(4):721-728.
65. Steinberg N, Hershkovitz I, Peleg S, Dar G, Masharawi Y, Zeev A, Siev-Ner I. *Morphological characteristics of the young scoliotic dancer*. Phys Ther Sport. 2013; 14(4):213-20.
66. Sward L. *The thoracolumbar spine in young elite athletes: current concepts on the effects of physical training*. Sports Med 1992; 13:357-64.
67. Tall RL. *Spinal injury in sport: epidemiologic considerations*. Clin Sports Med 1993; 12:441.
68. Solomon R, Brown T, Gerbino PG, et al. *The young dancer*. Clin Sports Med 2000;19:717.
69. Wilson FD, Lindseth RE. *The adolescent "swimmer's back."* Am J Sports Med 1982;10:174.
70. Goldstein JD, Berger PE, Windler GE, et al. *Spine injuries in gymnasts and swimmers: an epidemiologic investigation*. Am J Sports Med 199; 19(5):463-8.
71. Meyer C, Cammarata E, Haumont T, Devitterne D, Gauchard GC, Leheup B, Lascombes P, Perrin PP. *Why do idiopathic scoliosis patients participate more in gymnastics?* Scand J Med Sci Sports. 2006; 16(4):231-6.
72. McMaster ME, Lee AJ, Burwell RG. *Physical activities of Patients with adolescent idiopathic scoliosis (AIS): preliminary longitudinal case-control study historical evaluation of possible risk factors*. Scoliosis. 2015; 10:6.
73. Zaina F, Donzelli S, Lusini M, Minnella S, Negrini S. *Swimming and spinal deformities: a cross-sectional study*. J Pediatr. 2015; 166(1):163-7.
74. Modi H., Srinivasalu S., SMehta S., Yang Jae – Hyuk., Song Hae – Ryong., Woo Suh, S.. *Muscle imbalance in volleyball players initiates scoliosis in immature spine: A screening analysis*. Asian Spine Journal, 2008; 2(1):38-43.

75. Longworth B, Fary R, Hopper D. *Prevalence and predictors of adolescent idiopathic scoliosis in adolescent ballet dancers*. Arch Phys Med Rehabil. 2014; 95(9):1725-30.
76. d'Hemecourt PA, Hresko MT. *Spinal deformity in young athletes*. Clin Sports Med. 2012; 31(3):441-51.
77. Kenanidis EI, Potoupnis ME, Papavasiliou KA, Sayegh FE, Kapetanios GA. *Adolescent idiopathic scoliosis in athletes: is there a connection?* Phys Sportsmed. 2010; 38(2):165-70.
78. Boreham C, Riddoch C. *The physical activity, fitness and health of children*. J Sports Sci. 2001; 19:915-929.
79. Skerry TM. *Mechanical loading and bone: What sort of exercise is beneficial to the skeleton?* Bone. 1997; 20:179-181.
80. Romano M, Negrini S. *Sports, in association with specific exercises, can help to achieve better results in controlling the evolution of scoliosis*. Scoliosis. 2013; 8(Suppl 1):O19.
81. Fusco C, Zaina F, Atanasio S, Romano M, Negrini A, Negrini S. *Physical exercises in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis: an updated systematic review*. Physiother Theory Pract. 2011; 27(1):80-114.
82. Athanasopoulos S, Paxinos T, Tsafantakis E. *The effect of aerobic training in girls with idiopathic scoliosis*. Scand J Med Sci Sports. 1999; 9(1):36-40.
83. Pizzutillo PD. *Spinal considerations in the young athlete*. Instr Course Lect. 1993; 42:463-472.
84. Negrini S et al. *2011 SOSORT guidelines: Orthopaedic and Rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth*. Scoliosis. 2012; 7(1):3.
85. Sedrez JA, da Rosa MIZ, Noll M, Medeiros F da S, Candotti CT. *Risk factors associated with structural postural changes in the spinal column of children and adolescents*. Revista Paulista de Pediatria. 2015; 33(1):72-81.