



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE BIOCÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MORFOTECNOLOGIA

KARL MARX SANTANA DA SILVA

Efeito da invaginação basilar tipo B na coluna cervical: estudo caso-controle por ressonância magnética em amostra do sertão do estado da Paraíba

Recife
2024

KARL MARX SANTANA DA SILVA

Efeito da invaginação basilar tipo B na coluna cervical: estudo caso-controle por ressonância magnética em amostra do sertão do estado da Paraíba

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Morfotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Morfotecnologia.

Área de concentração: Morfologia clássica e avançada.

Orientador(a): Juliana Pinto de Medeiros

Coorientador(a): Severino Aires de Araújo Neto

Recife

2024

Catálogo na Fonte
Bibliotecário: Marcos Antonio Soares da Silva
CRB4/1381

Silva, Karl Marx Santana da

Efeito da invaginação basilar tipo B na coluna cervical: estudo caso-controle por ressonância magnética em amostra do sertão do estado da Paraíba. / Karl Marx Santana da Silva. – 2024.

38 f. : il., fig.; tab.

Orientadora: Juliana Pinto de Medeiros.

Coorientador: Severino Aires de Araújo Neto.

Dissertação (mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Morfotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, 2024.

Inclui referências.

1. Invaginação basilar. 2. Coluna cervical. 3. Lordose cervical. 4. Clivo. I. Medeiros, Juliana Pinto de (Orient.). II. Araújo Neto, Severino Aires (Coorient.). III. Título.

660.6

CDD (22.ed.)

UFPE/CB – 2024-111

KARL MARX SANTANA DA SILVA

Efeito da invaginação basilar tipo B na coluna cervical: estudo caso-controle por ressonância magnética em amostra do sertão do estado da Paraíba

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Morfotecnologia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de mestre em Morfotecnologia.

Área de concentração: Morfologia clássica e avançada.

Aprovado em: 28 / 02 / 2024

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Juliana Pinto de Medeiros (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof^a. Dr^a. Fernanda das Chagas Angelo Mendes Tenorio (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE

Prof. Dr. José Jailson Costa do Nascimento (Examinador Externo)
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE

Prof. Dr. Eul lâmpio José da Silva Neto (Examinador Externo)
Universidade Federal da Paraíba – UFPB

DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação a Jesus filho de Maria e José - de Nazaré - e filho de Deus - do céu - por sempre estar comigo.

Dedico também ao meu núcleo familiar, meu pai David; minha mãe Luzilene; meus irmãos Vladimir, Leon e Alex, a minha tia Marilene e a minha avó Maria, por toda vida, no mais amplo sentido, que me foi dada.

Dedico a minha querida e amada esposa Rebecka, por partilhar a vida comigo.

Dedico aos meus irmãos em Cristo, por serem luz em minha vida.

Dedico aos meus amigos, aos que estão perto e aos que já estão longe, em especial a Leandro e Jailson por contribuírem bastante neste trabalho.

Dedico aos meus professores, em especial a minha orientadora Juliana, ao meu coorientador Severino e ao meu mentor na anatomia humana Eulâmpio, por todos ensinamentos e paciência.

Dedico por fim a todo povo sertanejo nordestino, que antes de tudo é um povo forte, por terem acolhido minha família, em sua terra, anos atrás e por neste trabalho serem os atores principais.

“O temor do SENHOR é o princípio da sabedoria, e o conhecimento do Santo é prudência” (BÍBLIA, Provérbios, 9, 10, p. 1012)

RESUMO

Objetivo: Avaliar o efeito da invaginação basilar (IB) tipo B na coluna cervical.

Métodos: O protocolo de pesquisa utilizou exames de ressonância magnética (RM) de crânio de 41 participantes com IB tipo B e 158 controles. O critério para IB foi a distância do ápice do odontóide à linha de Chamberlain (DOCL) igual ou superior a 7 mm. Foram avaliados o comprimento do clivo (CLI), o ângulo do canal do clivo (ACC), o ângulo basal de Welcker (ABW), o ângulo de Boogard (ABO), o ângulo da lordose cervical superior (LCS) e o ângulo da lordose cervical total (LC). A análise descritiva, as comparações entre os grupos e as correlações entre os parâmetros da base do crânio e da coluna cervical foram realizadas com intervalo de confiança de 95%.

Resultados: Os participantes com IB tipo B apresentaram menor comprimento do clivo (CLI: $25,7\text{mm} \pm 7,3$), maior angulação da base do crânio (ABW: $126,5 \pm 10,4$), maior inclinação do forame magno (ABO: $151,5 \pm 14,5$), diminuição do valor do (ACC: $131,6 \pm 15$) e maiores angulações do LCS ($17,9 \pm 13,8$) e LC ($29,7 \pm 19,9$) em comparação ao grupo controle ($P < 0,05$). O comprimento do clivo e a ACC correlacionaram-se inversamente com o LCS e o LC, enquanto o ABO correlacionou-se diretamente com o LCS e o LC. A ABW não se correlacionou com a LC ($P < 0,05$).

Conclusão: A deformação da base do crânio no IB do tipo B causou, em média, uma hiperlordose de quase 30 graus no segmento C2-C6. Essa alteração foi de aproximadamente 17° no C2-C4, sendo a hipoplasia de clivo um fator de risco para hiperlordose cervical. Além disso, a platibasia não foi um fator determinante no aumento da angulação total da lordose cervical.

Palavras-chave: Invaginação basilar; coluna cervical; lordose cervical; clivo.

ABSTRACT

Objective: To evaluate the effect of the basilar invagination (BI) type B in the cervical spine.

Methods: The research protocol used head magnetic resonance imaging (MRI) exams from 41 participants with BI type B and 158 controls. The criterion for BI was the distance of the odontoid apex to Chamberlain's line (DOCL) equal to or greater than 7 mm. The clivus length (CLI), clivus canal angle (ACC), Welcker's basal angle (ABW), Boogaard's angle (BOA), upper cervical lordosis angle (UCL), and total cervical lordosis angle (CL) were evaluated. The descriptive analysis, group comparisons, and correlations between skull base and cervical spine parameters were performed at the 95% confidence interval.

Results: participants with BI type B showed shorter clivus length (CLI: $25.7\text{mm} \pm 7.3$); greater angulation of the skull base (ABW: 126.5 ± 10.4); greater inclination foramen magnum (BOA: 151.5 ± 14.5); decrease in the value of the (ACC: 131.6 ± 15); and greater angulations of UCL (17.9 ± 13.8) and CL (29.7 ± 19.9) in comparison to the control group ($P < 0.05$). Clivus length and ACC correlated inversely with UCL and CL, while BOA correlated directly with UCL and CL. The ABW did not correlate with CL ($P < 0.05$).

Conclusion: The deformation of skull base in the BI of type B caused, on average, a hyperlordosis of almost 30 degrees in the C2-C6 segment. This change was approximately 17° in the C2-C4, with the clivus hypoplasia being a risk factor for cervical hyperlordosis. In addition, platybasia was not a determining factor in increasing the total angulation of cervical lordosis.

Keywords: Basilar invagination; cervical spine; cervical lordosis; clivus.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

DISSERTAÇÃO

- Figura 1 – Visão sagital mediano (T1 MPRAGE) em indivíduos com e sem IB mostrando a avaliação do comprimento do clivo, angulação da base do crânio e inclinação do forame magno. 23
- Figura 2– Visão sagital mediano (T1 MPRAGE) em indivíduos com e sem IB mostrando a avaliação da coluna cervical. 24
- Figura 3– Visão sagital mediano (T1 MPRAGE) de participantes com IB B grave e com IB B associado ao comprimento normal do clivus e retificação cervical. 25

LISTA DE TABELAS

DISSERTAÇÃO

Tabela 1 –	Análise descritiva das variáveis da JCV e da coluna cervical	29
Tabela 2 –	Correlação de Spearman entre variáveis da JCV e coluna cervical	29
Tabela 3 –	Média e desvio padrão das variáveis na literatura	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABO: Ângulo de Boogard

ABW: Ângulo Basal de Welcker (ABW)

ACC: Ângulo Clivo Canal

CLI: Comprimento do clivo

DOCL: Distância do ápice do Odontóide à Linha de Chamberlain

LC: Ângulo de lordose cervical

LCS: Ângulo de lordose cervical superior

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
3	OBJETIVOS	19
3.1	Objetivo geral	19
3.2	Objetivos específicos	19
4	METODOLOGIA	20
4.1	Desenho do estudo e aspecto ético	20
4.2	Participantes	20
4.3	Coleta de dados	20
4.4	Aquisição da RM	21
4.5	Análise estatística	26
5	RESULTADOS	27
5.1	Demografia	27
5.2	Distribuição Gausseana	27
5.3	Medidas da JCV e coluna cervical	27
5.4	Correlações	27
6	DISCUSSÃO	31
7	ARTIGO 1 – Effect of the basilar invagination (type B) on cervical spine: a case-control study at MRI	34
8	CONSIDERAÇÕES FINAIS	35
9	REFERÊNCIAS	36

1. INTRODUÇÃO

A junção craniovertebral (JCV) compreende a transição entre o osso occipital e a coluna cervical. A JCV é composta por clivo, forame magno, atlas (C1), axis (C2) e articulações atlantooccipital e atlantoaxial (CHEN; LIU, 2009). Esta região é contínua com a coluna cervical que geralmente tem uma lordose cervical fisiológica.

O clivo é a inclinação posterior da base do crânio localizada do basio (margem anterior do forame magno) até o dorso da sela turca. Durante seu desenvolvimento é dividido em duas partes: basisfenoide e basioccipital que são separados pela sincondrose esfenooccipital. O clivo e o processo odontoide formam o pilar central da JCV e são fundamentais para sua biomecânica (PANG; THOMPSON, 2014; SHOJA et al., 2018).

Uma das doenças que acometem esse pilar central é a invaginação basilar (IB). Em 1998, Goel classificou o IB como tipo I e II considerando sua associação com malformação de Chiari, na qual o IB tipo II tinha Chiari associado. Anos mais tarde, Goel reclassificou o IB em grupos A e B (GOEL, 2004, 2009). O tipo A é evidenciado por um deslocamento do processo odontoide, enquanto o tipo B é caracterizado por hipoplasia de estruturas na base do crânio associada à elevação dos elementos da coluna cervical superior (BOTELHO; FERREIRA; ZANDONADI FERREIRA, 2018; GOEL; BHATJIWALE; DESAI, 1998; NASCIMENTO et al., 2019). O IB tipo B tem alta prevalência no Nordeste brasileiro, o que pode estar relacionado ao formato craniano característico dessa população, que tende a platibasia e braquicefalia (BARROS et al., 1968; CARVALHO NETO; BERTHOLDO, 2017; NASCIMENTO et al., 2016, 2018; SILVA et al., 1994; SILVA; SILVA, 1981).

A etiologia da IB é multifatorial (PANG; THOMPSON, 2014) e pode ser idiopática, congênita (primária) ou adquirida (secundária) (MENEZES, 1997; NASCIMENTO et al., 2019). O processo de desenvolvimento ainda não é totalmente compreendido; entretanto, acredita-se que ocorra devido a uma displasia no crescimento dos basioccipitais e exoccipitais, o que levaria à hipoplasia desses elementos, forçando os esclerótomos C1-C2 a se movimentarem anterossuperiormente (PANG; THOMPSON, 2014).

Várias características morfológicas têm sido associadas à IB, como hipoplasia dos côndilos occipitais, redução de volume da fossa craniana posterior, hipoplasia do clivo, hiperlordose cervical e síndrome de Klippel feil (NISHIKAWA et al., 1997; SMOKER, 1994). Esses achados podem levar a repercussões clínicas decorrentes do efeito compressivo sobre porções do sistema nervoso e alterações musculoesqueléticas associadas (BOTELHO; FERREIRA, 2013; GOEL; BHATJIWALE; DESAI, 1998; SHAH; SERCHI, 2016).

Manter as estruturas da base do crânio e da lordose cervical dentro dos parâmetros normais é essencial para as funções de mastigação, respiração, vocalização, movimentação ocular e absorção do impacto durante a marcha (TANG et al., 2012).

2. REFERENCIAL TEORICO

O referencial teórico exposto neste capítulo será abordado em três tópicos. O primeiro tópico tratando sobre a anatomia da junção crânio vertebral (JCV), o segundo tópico sobre estudos que tratam da coluna cervical no contexto da IB e por fim um breve contexto sobre a invaginação basilar e sua casuística no Nordeste.

2.1. ANATOMIA DA JUNÇÃO CRANIO CERVICAL E COLUNA CERVICAL

A Junção crânio vertebral (JCV) é a área de união entre o crânio e as vertebrae cervicais, sendo composta por estruturas de ambas as regiões, a saber: basiesfenoide, osso occipital, a atlas e a axis.

Uma estrutura importante para a base do crânio é o Clivo. Durante seu desenvolvimento é dividido em duas partes: basisfenoide e basioccipital que são separados pela sincondrose esfenoccipital (SHOJA et al., 2018).

No período de desenvolvimento embrionário o osso occipital possui quatro regiões: basioccipital (anterior), exoccipitais (duas partes laterais) e supraoccipital (posterior).

O basioccipital delimitará anteriormente o forame magno e formará a parte inferior do clivo (a parte superior será formada pelo esfenoccipital). Os exoccipitais formarão os côndilos occipitais e farão a delimitação lateral do forame magno. Por fim, o supra occipital formará a fossa cerebelar e delimitará o forame magno posteriormente.

Nas estruturas formadas pelo osso occipital existem acidentes osseos, canais e suturas importantes dentre as quais destacamos (CHARBONNEAU et al., 2024):

- Canais hipoglossos: Localizados nos côndilos occipitais servem de passagem para o nervo hipoglosso e para o ramo faríngeo ascendente da artéria carótida externa.

- Canais condilares: Localizados posteriormente as faces articulares dos côndilos occipitais e servem de passagem para a veia emissária, conectando os plexos venosos occipital, sigmóide e suboccipital.

- Forame jugular: Localizados lateralmente aos côndilos occipitais na junção do osso occipital com a parte petrosa do osso temporal.

Em sentido caudal está a primeira vertebra cervical, a atlas (C1). Esta é desprovida de corpo vertebral e processo espinhoso. É constituída de um arco anterior (com uma face articular interna), um arco posterior, duas massas laterais com faces articulares (2 superiores e 2 inferiores) e, lateralmente, os processos transversos com o forame transverso em seu centro (como em todas as vértebras cervicais).

Abaixo de C1 está a áxis (C2) que possui um corpo vertebral singular. Esta possui o processo odontóide (que se articula com o arco anterior de C1), processo espinhoso bífido, faces articulares (2 superiores e 2 inferiores) e processos transversos com forame transverso.

Os côndilos occipitais se articulam com as faces articulares superiores de C1 (articulação Atlanto-occipital – C0-C1), enquanto as faces articulares inferiores de C1 se articulam com as faces articulares superiores de C2 (articulação Atlanto-axial – C1-C2).

As demais vertebra cervicais (C3-C7) possuem características típicas: corpo vertebral com processo uncinado, faces articulares (2 superiores e 2 inferiores), processos transversos com dois tubérculos (anterior e posterior) e um forame transverso. Todas possuem um pequeno processo espinhoso (muitas vezes bífido), exceto C7 que possui um processo espinhoso robusto. Todas as vertebra seguem o mesmo padrão de articulação no qual as faces articulares inferiores da vertebra mais cranial se articulam com as faces articulares superiores da vértebra mais caudal.

Todo este conjunto é conectado por diversos ligamentos, que promovem a estabilização estática, e músculos que promovem a estabilização dinâmica. Além disso diversas estruturas nervosas estão intimamente relacionadas à base do crânio e à coluna cervical, dentre as quais podemos destacar o tronco encefálico (mesencéfalo, ponte e bulbo), a medula espinhal e as raízes nervosas para os nervos periféricos.

Biomecânicamente a porção superior da coluna cervical (C0-C2) possui mais mobilidade que a porção inferior (C3-C7). Na amplitude de movimento (ADM) cervical total, aproximadamente 40% da flexoextensão e 60% da rotação axial ocorrem entre

C0-C2 (BEYER; FEIPEL; DUGAILLY, 2020). Isso decorre do formato e disposição das articulações e faces articulares. Por exemplo, a articulação atlanto-occipital é formada pelos côndilos occipitais que possuem formato convexo apoiados sobre uma face articular levemente concava (face articular superior da atlas), por outro lado as faces articulares de C7 apresentam uma inclinação posterossuperior – limitando movimentos de rotação e flexão (KAPANDJI, 2009).

2.2. ESTUDOS SOBRE A LORDOSE NO CONTEXTO DA IB

A relação entre IB e a lordose cervical vem sendo pesquisada e discutida principalmente no que se refere a abordagem cirúrgica. Diversas abordagens cirúrgicas para o tratamento de sintomas da IB usam, principalmente, as primeiras vertebrae (GOEL; SATHE; SHAH, 2017).

Dentre estas técnicas cirúrgicas está a ressecção do dente da áxis por via trans oral, a descompressão posterior retirando o arco posterior da atlas e também a fixação atlanto-axial ou occipito-axial nas quais as massas laterais das vertebrae servem de suporte para os parafusos de fixação (CHEN et al., 2023; GOEL; SATHE; SHAH, 2017; HOU et al., 2022).

Além das técnicas cirúrgicas, as investigações sobre a coluna cervical têm se voltado também para o aumento da lordose nesta região em pessoas com IB. Estes trabalhos, em diversos países, demonstraram que há o aumento da angulação total da lordose cervical nos indivíduos com IB. Neste contexto temos os artigos de um pesquisador brasileiro que identificou relação entre o aumento na lordose cervical total e a IB (tipo A e B) (BOTELHO; FERREIRA, 2013; BOTELHO; FERREIRA; ZANDONADI FERREIRA, 2018).

Contudo a interação entre estas estruturas, especialmente na IB, ainda é pouco estudada. Como exemplo, não foi identificado durante a revisão bibliográfica nenhum artigo que avaliasse outra medida da coluna cervical – além a lordose cervical total – sendo que a porção superior da coluna cervical possui uma biomecânica bem diferente da porção inferior.

2.3. A IMPRESSÃO BASILAR E SUA GRANDE CASUISTICA NO NORDESTE DO BRASIL

Os primeiros casos de IB relatados em território brasileiro datam da década de 50, aproximadamente 25 casos tratados na cidade de São Paulo (CANELAS et al., 1956; CANELAS; ZACLIS; TENUTO, 1952).

Os relatos no nordeste brasileiro iniciaram com um estudo clínico desenvolvido na Universidade Federal de Pernambuco com 66 casos de IB. (BARROS et al., 1968) . Posteriormente, no estado da Paraíba, dois artigos publicados em 1981 e 1994 relatam uma série de 260 casos sintomáticos de malformações da JCV tratados entre 1971 e 1992. Destes 260 casos aproximadamente 80% dos pacientes apresentaram associação entre IB e malformação de Chiari e 11% IB pura (SILVA et al., 1994; SILVA; SILVA, 1981).

Atualmente ainda não há estudos epidemiológicos sobre IB, contudo as evidências da literatura mostram um alto relato de casos no Nordeste de Brasil. Diversas pesquisas têm sido desenvolvidas, com vistas a entender melhor este fenômeno e oferecer contribuições a comunidade científica. Um dos achados é relação da IB com a braquicefalia, característica craniana presente nesta região. (BARROS et al., 1968; FRADE et al., 2017; NASCIMENTO et al., 2016, 2018; NETO; BERTHOLDO, 2017; SILVA et al., 1994, 2011; SILVA; SILVA, 1981)

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo geral

Avaliar o efeito do IB tipo B sobre coluna cervical.

3.2. Objetivos específicos

- a) Comparar as médias das variáveis da base do crânio e da coluna cervical dos grupos de indivíduos com e sem IB tipo B.
- b) Analisar a correlação entre as variáveis da base do crânio e da coluna cervical dos grupos de indivíduos com e sem IB tipo B

4. METODOLOGIA

4.1. Desenho do estudo e aspecto ético

Trata-se de um estudo observacional, analítico, caso-controle, retrospectivo e transversal. O estudo foi aprovado pelo comitê de ética institucional, registrado sob o número 67341317.8.0000.5188.

4.2. Participantes

Foram utilizados exames de ressonância magnética (RM) de crânio realizados em um serviço privado de radiologia localizado no estado da Paraíba (nordeste do Brasil), entre outubro de 2011 e outubro de 2012.

Os critérios de inclusão foram: RM de crânio de pacientes maiores de 18 anos com ponderação T1.

Critérios de exclusão: questões técnicas, como artefatos, movimentação ou ausência de estruturas anatômicas na imagem, que impossibilitavam qualquer medida. Exames repetidos de um mesmo paciente também foram excluídos, e o primeiro exame foi escolhido para compor a amostra, a menos que tivesse sido excluído por um dos outros critérios acima, momento em que foi escolhido o exame seguinte.

Após a aplicação desses critérios, foram avaliados 199 exames de um banco de dados com 252 RMs no plano sagital mediano. Os participantes foram separados em grupo controle e grupo IB (tipo B). O critério morfológico para IB foi a distância do ápice do odontóide à linha de Chamberlain (DOCL) igual ou superior a 7 mm (NASCIMENTO et al., 2019).

4.3. Coleta de dados

Para esta coleta foi utilizado o software Osirix® (V.3.9.2) (Pixmeo, Genebra, Suíça). As variáveis craniométricas foram medidas por meio de ferramentas lineares e angulares para avaliar a JCV e a curvatura da coluna cervical (Figuras 1 e 2):

- a. *Distância do ápice do Odontóide à Linha de Chamberlain (DOCL)*: Medida desde a Linha de Chamberlain (linha traçada da porção posterior do palato duro até o opstion) até o ápice do processo odontóide.
- b. *Comprimento do clivo (CLI)*: medido entre o dorso da sela (esfenoide) até o basion.
- c. *Ângulo Basal de Welcker (ABW)*: ângulo medido entre o basion, dorso da sela turca (vértice) e o násio.
- d. *Ângulo de Boogaard (ABO)*: A ABO é formada por uma linha tangente ao clivo e outra tangente ao forame magno, com o vértice angular no basion.
- e. *Ângulo do canal de Clivo (ACC)*: ângulo formado entre uma linha tangente ao clivo e outra tangente à margem posterior do processo odontóide.
- f. *Ângulo de Lordose Cervical Superior (LCS)*: Ângulo entre as linhas das faces posteriores dos corpos vertebrais de C2 e C3/C4. Utilizado para medir a angulação da porção superior da coluna cervical (DE FARIAS NETO et al., 2010; HUGGARE; RAUSTIA; MAKOFSKY, 1992) .
- g. *Ângulo de Lordose Cervical (LC)*: Ângulo entre as superfícies posteriores dos corpos vertebrais de C2 e C6. É usado para medir a angulação total da coluna cervical. A LC é uma adaptação da medida de C2-C7, que já foi proposta na literatura (SMOKER, 1994) , pois na RM de rotina da cabeça, mesmo diante do amplo FOV da sequência sagital MPRAGE, não costuma incluir a vértebra C7.
- h. Dados demográficos: Idade e sexo foram coletados para identificar o perfil dos participantes da pesquisa.

4.4. Aquisição da RM

A RM utilizada neste protocolo de estudo foi realizada em aparelho Magneton C! (Siemens Medical Solutions, Erlangen, Alemanha), 0,35T, campo aberto. As medidas foram calculadas na sequência de pulso volumétrico isotrópico sagital T1, denominada rapid gradient echo preparado por magnetização (MPRAGE), com avaliação sem contraste.

Os parâmetros de imagem foram: espessura de corte, 0,9-1,1 mm; campo de visão (FOV) 270 mm; Fase FOV 81,3%; resolução base, 256; resolução de fase e corte, 100%; o número de aquisições, 1; ET, 6,5 s; TR, 18 s; ângulo de inclinação, 30°.

As limitações da relação sinal-ruído do aparelho de RM de baixo campo foram compensadas por um tempo de aquisição maior, de 7 min 52 s, para obter um resultado comparável aos das aquisições usuais de T1 MPRAGE de aproximadamente 4 min de duração em RM de 1,5T, com os mesmos parâmetros de resolução (dimensões e espessura do pixel). As imagens foram armazenadas em formato DICOM.

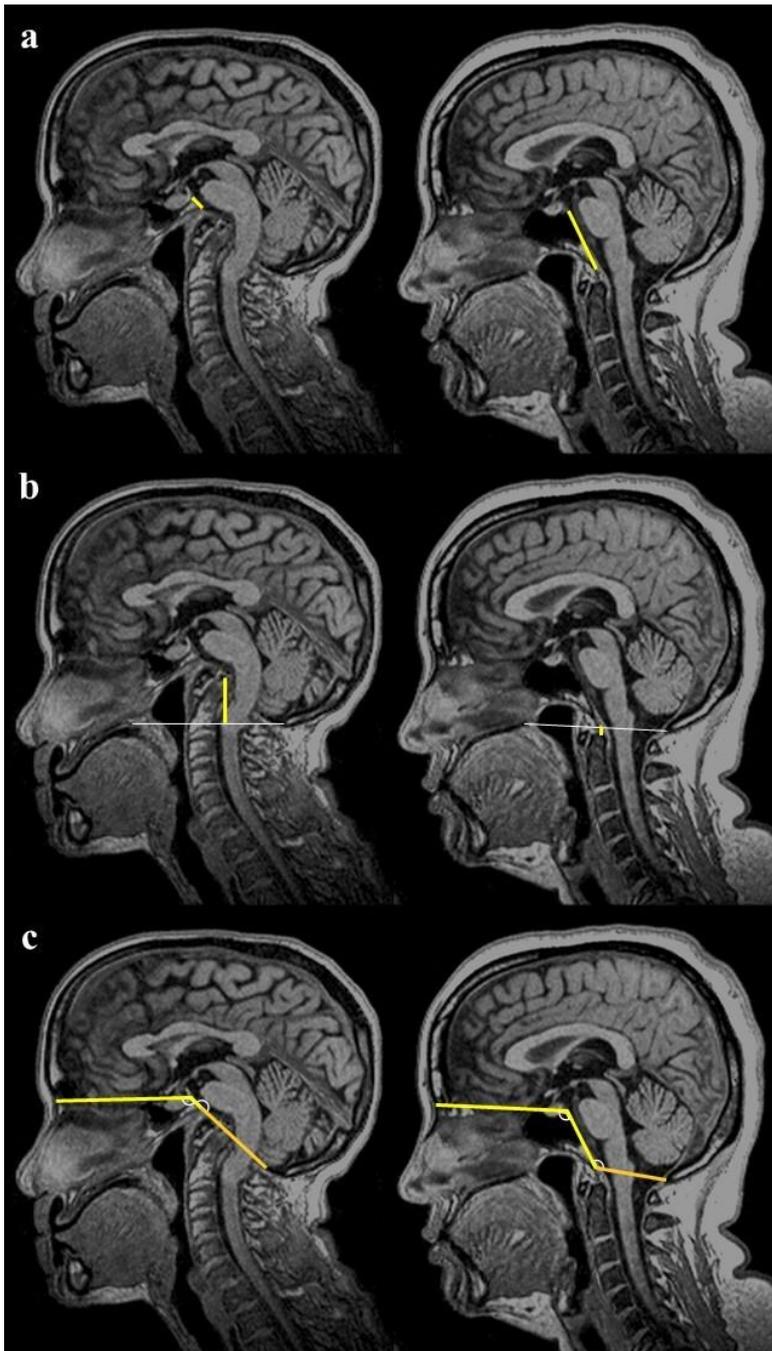


Fig. 1 Sagital mediano (T1 MPRAGE) em um participante com IB (esquerda) e controle (direita) mostrando a avaliação do comprimento do clivo, angulação da base do crânio e inclinação do forame magno. **a) CLI:** comprimento do Clivo formado por uma linha do dorso da sela até a margem anterior do forame magno. **b) DOCL:** Distância do ápice do processo odontoide à linha de Chamberlain. **c) ABW:** ângulo basal de Welcker formado por duas linhas: uma que se traça entre o násio e a sela dorsal (vértice angular) e outra deste até a margem anterior do forame magno. **ABO:** Ângulo de Boogard formado por uma linha tangente ao clivo e outra tangente ao forame magno (linha laranja), com o vértice angular no basion.

Fonte: O autor (2024).

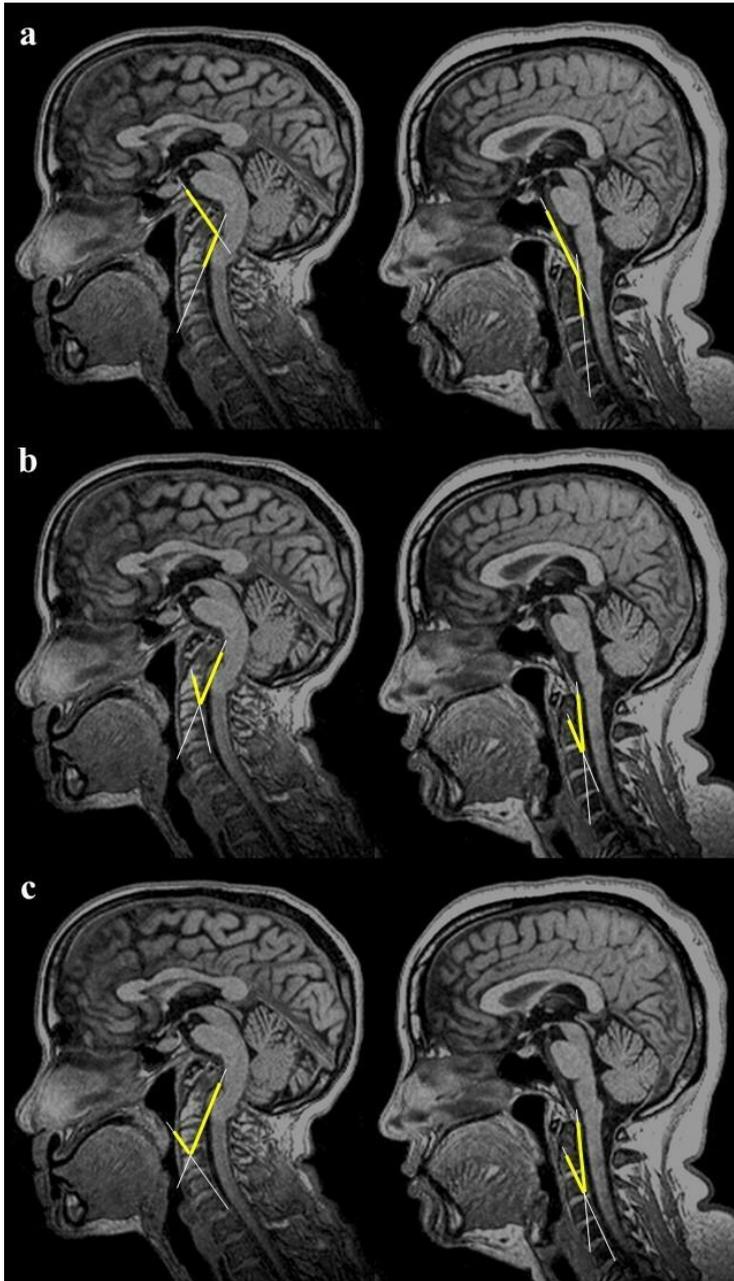


Fig. 2 Sagital mediano (T1 MPRAGE) em um participante com IB (esquerda) e controle (direita) mostrando a avaliação da coluna cervical. **a) ACC:** ângulo do canal do clivo formado por uma linha tangente ao clivo e outra tangente à margem posterior do processo odontóide. **b) LCS:** ângulo da lordose cervical superior formado entre as linhas das faces posteriores dos corpos vertebrais de C2 e C3/C4. **c) LC:** Ângulo da lordose cervical formado por duas linhas, uma que é desenhada na face posterior do processo odontóide de C2 e outra na face posterior do corpo vertebral de C6.

Fonte: O autor (2024).

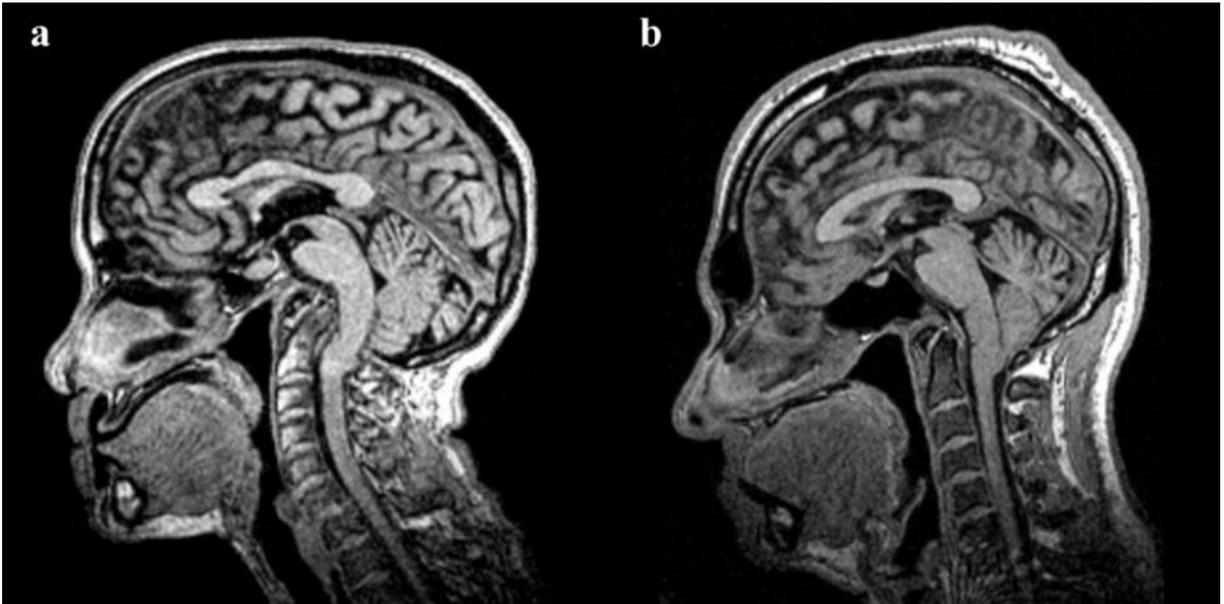


Figure 3 Sagital mediano (T1 MPRAGE) de participantes com IB B grave (esquerda) e com IB B associado ao comprimento normal do clivo e retificação cervical (direita). **a)** mulher, 59 anos, DOLC: 23,1 mm; CLI: 6,8 mm; ABW: 137,56°; ABO:179,23°; ACC:113,54°; LCS: 27,45°; LC: 48,52°; **b)** homem, 55 anos, DOLC: 13,4 mm; CLI: 32,7 mm; ABW: 118,61°; ABO:153,87°; ACC:141,80°; LCS: 5,40°; LC: 7,31°.

Fonte: O autor (2024).

4.5. Análise estatística

A análise estatística foi realizada utilizando-se o software IBM SPSS (versão 20) com intervalo de confiança de 95%. Além da análise descritiva, foi realizado o teste de Kolmogorov-Smirnov para verificar a distribuição dos dados (normal ou não normal). Na comparação entre os grupos, foi aplicado o teste t independente ou o teste U de Mann-Whitney, dependendo do tipo de distribuição dos dados. O teste de correlação de Spearman foi utilizado para avaliar a correlação.

5. RESULTADOS

5.1. Demografia

O grupo IB foi composto por 41 participantes, sendo 23 (56,1%) homens e 18 (43,9%) mulheres, com média de idade de 57,51 ($\pm 16,69$) anos. O grupo controle foi composto por 158 participantes, sendo 61 (38,6%) homens e 97 (61,4%) mulheres, com média de idade de 45 ($\pm 17,25$) anos.

5.2. Distribuição Gausseana

O grupo IB não apresentou distribuição normal para DOCL ($p = 0,029$) e CLI ($p = 0,009$). As demais variáveis apresentaram distribuição normal. O grupo controle não apresentou distribuição normal de DOCL ($p = 0,012$), ABO ($p = 0,002$) e LC ($p = 0,009$). As demais variáveis apresentaram distribuição normal. A população estudada ($n=199$), sem separação dos grupos, não apresentou distribuição normal em nenhuma variável.

5.3. Medidas da JCV e coluna cervical

Os dados da análise descritiva de todas as medidas e comparação entre os grupos estão resumidos na Tabela 1 .

Os resultados mostraram que o grupo IB apresentou comprimento do clivo significativamente menor; maior angulação da base do crânio (ABW); maior inclinação do forame magno (ABO) e maior inclinação posterior do odontoide em relação ao clivo (ACC), quando comparado ao grupo controle. Em relação à coluna cervical, observou-se que o grupo IB apresentou angulações significativamente maiores do LCS e LC quando comparado ao grupo controle.

5.4. Correlações

Foram realizados testes de correlação entre as variáveis da JCV e da coluna cervical para os grupos IB e controle. Além disso, o presente estudo também avaliou a correlação considerando a amostra total em que os controles foram misturados com os participantes com IB. Os dados de correlação encontram-se na Tabela 2 com correlações significativas destacadas.

As correlações entre os parâmetros da JCV e a coluna cervical no IB foram mais intensas do que nos controles, indicando que o IB tipo B esteve associado a adaptações conformacionais na coluna cervical. A seguir, foram resumidos os principais achados de acordo com cada parâmetro do JCV:

- a) CLI – correlacionou-se inversamente com LCS e LC. Essa correlação foi de intensidade moderada no IB, fraca no total da amostra e muito fraca nos controles.
- b) ABW – O achatamento da base do crânio correlacionou-se diretamente proporcionalmente com o LCS. É de intensidade moderada no IB e muito fraca no total da amostra. Essa correlação não ocorreu nos controles. Por outro lado, a ABW não se correlacionou com a LC em nenhum grupo.
- c) ABO – A inclinação do forame magno correlacionou-se diretamente proporcionalmente com o LCS e o LC. Sendo de intensidade moderada no IB e na amostra total. Nos controles, foi de fraca intensidade.
- d) ACC – A cifose craniovertebral correlacionou-se inversamente proporcionalmente com o LCS e LC. No entanto, nos controles, a correlação foi de intensidade fraca e muito fraca para LCS e LC, respectivamente.

Tabela 1 Análise descritiva das variáveis da JCV e da coluna cervical

	DOCL		CLI		ABW		ABO		ACC		LCS		LC	
	IB	CTRL	IB	CTRL	IB	CTRL	IB	CTRL	IB	CTRL	IB	CTRL	IB	CTRL
Média	1,28	0,13	2,57	3,45	126,51	120,68	151,54	128,29	131,61	153,39	17,97	7,31	29,69	11,05
DP	0,55	0,30	0,73	0,47	10,37	7,18	14,51	7,46	14,97	10,71	13,82	7,56	19,94	10,59
p	0,000	MWU-t	0,000	MWU-t	0,001	t-t	0,000	MWU-t	0,000	t-t	0,000	t-t	0,000	MWU-t

t-t: Teste t; **MWU-t**: Teste U de Mann-Whitney; **DP**: Desvio padrão; **IB**: Grupo com impressão basilar; **CTRL**: Grupo controle

Fonte: O autor (2024).

Tabela 2 Correlação de Spearman entre variáveis da JCV e coluna cervical

	POP		CTRL		IB	
	LCS	LC	LCS	LC	LCS	LC
DOCL	,425 [†] ,000	,509 [†] ,000	,263 [†] ,001	,316 [†] ,000	,419 [†] ,006	,338 [†] ,030
CLI	-,376 [†] ,000	-,388 [†] ,000	-,198 [†] ,013	-,160 [†] ,044	-,564 [†] ,000	-,448 [†] ,003
ABW	,142 [†] ,046	,104 ,143	-,019 ,808	-,066 ,411	,436 [†] ,004	,296 ,061
ABO	,449 [†] ,000	,467 [†] ,000	,281 [†] ,000	,253 [†] ,001	,554 [†] ,000	,449 [†] ,003
ACC	-,412 [†] ,000	-,412 [†] ,000	-,210 [†] ,008	-,164 [†] ,040	-,664 [†] ,000	-,610 [†] ,000
LCS		,664 [†] ,000		,547 [†] ,000		,789 [†] ,000

†: Correlação significativa; **POP**: População total do estudo; **IB**: Grupo com impressão basilar; **CTRL**: Grupo controle

Fonte: O autor (2024).

Tabela 3. Média e desvio padrão das variáveis na literatura.

Estudos com JCV	DOLC		CLI		WBA		BOA		CAA		UCL		CL	
	Control	IB B	Control	IB B	Control	IB B	Control	IB B	Control	IB B	Control	IB B	Control	IB B
Presente estudo (Brasil)	1.3 ± 3	12.8 ± 5.5	34.5 ± 4.7	25.7 ± 7.3	120.7 ± 7.2	126.5 ± 10.4	128.3 ± 7.5	151.5 ± 14.5	153.4 ± 10.7	131.6 ± 15	7.3 ± 7.6	17.9 ± 13.8	11.1 ± 10.6	29.7 ± 19.9
Nascimento,2018 (Brasil)	1.8 ± 3.4	12.2 ± 5.5	-	-	131.2 ± 6.7*	145 ± 10.4*	125.4 ± 6.6	150 ± 14.4	157 ± 9.2	134 ± 16.4	-	-	-	-
Joaquim,2014 (Brasil)	1.2 ± 3.2	12 ± 8.1	38.2 ± 4.1	28.3 ± 7.8	112.5 ± 9.4	120.2 ± 12.8	-	-	154.9 ± 5	133.3 ± 20.3	-	-	-	-
Botelho,2013 (Brasil)	-	> 5	-	-	119 ± 7.11	130 ± 11.11	126 ± 9.4	183 ± 24.7	148 ± 9.88	117 ± 16.4	-	-	158±13.89*	137 ± 14.8*
Botelho,2020 (Brasil)	- 2.2±2.7	17.7 ± 6.4	42.4 ± 4.8	31.4 ± 6.6	116.7 ± 6.8	129.9 ± 9.8	122 ± 6.9	184.9 ± 20.6	153.7 ± 9.09	120.7 ± 14	-	-	-	-
Jian,2022 (China)	-0.84±2.7	11.4 ± 4.1	45.28 ± 4.8	35.05 ± 4.6	112 ± 6.5	120.6 ± 7.00	119.7 ± 6.6	149.5 ± 13.9	160 ± 8.84	135.4 ± 12.6	-	-	-12.83 ± 4*	-24.53 ± 14*
Baysal, 2022 (Turquia)	-1.08±2.3	8.6 ± 3.2	-	-	-	-	130 ± 4.6	149.3 ± 10.4	154.3 ± 7.87	141.8 ± 10.2	-	-	-	-

*Método de coleta diferente

Fonte: O autor (2024).

6. DISCUSSÃO

Em indivíduos saudáveis, o forame magno é horizontalizado quando comparado à outros primatas. Esta é a característica que favorece a postura ereta e o olhar horizontal do *homo sapiens* (BIENVENU et al., 2011) . Quando alinhada ao plano horizontal, a cabeça funciona como uma alavanca de primeiro grau, com seu centro de equilíbrio próximo à dorso da sela, e os músculos cervicais atuam na manutenção do equilíbrio dinâmico da região (AMANTÉA et al., 2004; KAPANDJI, 2009). Assim, a base do crânio é uma unidade biomecanicamente integrada à coluna cervical.

Essa integração biomecânica entre a JCV e a coluna cervical ficou evidente na análise de correlação realizada para os grupos separadamente e para a amostra total. As correlações, geralmente, seguem o mesmo padrão, variando a intensidade das correlações entre as variáveis, que são mais fortes no grupo IB quando comparado aos controles e amostra total. Isso sugere que, à medida que a deformação ocorre na base do crânio, a relação entre a JCV e a curvatura da coluna cervical é intensificada. Em termos morfológicos, isso representou um aumento significativo da lordose cervical no IB tipo B, sem nenhum caso de instabilidade atlanto-axial na amostra.

O grupo IB demonstrou maior angulação da lordose cervical (LCS e LC) quando comparado ao controle, o que está de acordo com estudos prévios que relatam associação entre IB e maior lordose cervical (BOTELHO, 2017; BOTELHO; FERREIRA, 2013; BOTELHO; FERREIRA; ZANDONADI FERREIRA, 2018). No presente estudo, todos os casos de IB eram do tipo B, que está primariamente relacionado à displasia da base do crânio. Com base nisso, a hipoplasia do clivo e a maior inclinação do forame magno (ABO) foram associadas a um aumento da lordose no segmento C2-C6, sendo mais intensa no segmento C2-C4, como evidenciado por LC e LCS, respectivamente. Indicando que o fenômeno do IB pode causar alterações conformacionais adaptativas em toda a biomecânica da coluna cervical.

Um estudo biomecânico experimental mostrou que para indivíduos sem IB manterem o olhar horizontal ao realizar protração da cabeça é necessário realizar hiperlordose nas vértebras superiores (C1-C2) e diminuir a lordose nas vértebras inferiores (C3-C7), enquanto o conjunto C2-C3 não apresentou movimentação

significativa (PATWARDHAN et al., 2018). Na IB tipo B, a adaptação das vértebras superiores ocorre de forma semelhante, mas as vértebras inferiores também aumentam a angulação. Assim, uma maior inclinação do forame magno, isoladamente, implicaria um olhar abaixo do horizonte, exigindo hiperlordose de toda a coluna cervical para manter um aspecto horizontal.

Os resultados do presente estudo sugerem que a fisiopatologia usual do IB tipo B resulta principalmente da hipoplasia do clivo, que favorece a inclinação anterossuperior do plano do forame magno (evidenciado pelo ABO), côndilos occipitais e articulação atlanto-occipital. Posteriormente, essa alteração desencadeia uma deformação secundária para manter o olhar horizontal, com o aumento compensatório da lordose cervical, impactando principalmente as primeiras vértebras cervicais.

Nesse contexto, a Figura 3 mostra um caso grave de IB tipo B com hipoplasia do clivo e hiperlordose cervical (fig. 3a), e um caso leve de IB tipo B em nossa amostra apresentando clivo bem desenvolvido associado à retificação da coluna cervical (fig. 3b). Vale ressaltar que esse IB discreto mostrou menor compressão do tronco encefálico e maior preservação da anatomia da JCV. Assim, a hipoplasia do clivo foi fator de risco para hiperlordose e consequente compressão do tronco encefálico e da medula espinhal.

A hipoplasia do clivo associada à hiperlordose deve ser considerada para o planejamento cirúrgico da IB tipo B, uma vez que o alinhamento biomecânico da JCV pode ter apresentações muito diferentes dependendo da gravidade da hipoplasia do clivo. Não há consenso sobre a estratégia cirúrgica do IB tipo B. As mais difundidas são a ressecção transoral anterior do processo odontóide, a descompressão da fossa craniana posterior e a fixação atlanto-axial (CHEN et al., 2023; GOEL; SATHE; SHAH, 2017; HOU et al., 2022). Nesse contexto, a fixação pode ser efetiva para o IB sem luxação atlanto-axial com o objetivo de corrigir a ACC e reduzir a compressão ventral (HOU et al., 2022). Entretanto, a odontoidectomia e fixação para os casos graves de IB tipo B associada à hiperlordose e hipoplasia do clivo podem ser desafiadoras.

Além disso, as correlações com a ABW devem ser destacadas em nossos dados. No grupo IB, a ABW correlacionou-se moderadamente com o LCS, o que

concorda com nossa hipótese de que a deformação primária na base do crânio afeta principalmente as primeiras vértebras cervicais. Entretanto, o ABW não se correlacionou com a LC em nenhum grupo, indicando que a platibasia não é um fator determinante para o aumento da angulação total da lordose cervical (em participantes com ou sem IB tipo B), embora seja uma característica presente no tipo B IB (NASCIMENTO et al., 2018, 2019).

Os resultados observados no presente estudo ajudam a entender como a IB tipo B altera a organização da coluna cervical. Os dados mostraram que a IB tem efeitos significativos na biomecânica angular da coluna cervical, o que pode estar relacionado a diversas manifestações funcionais nesses pacientes. Por fim, o presente estudo também sugere que os valores de LC (C2-C6) do grupo controle (LC = $11,05 \pm 10,59$) podem ser considerados valores de referência para participantes sem deformidades da coluna cervical, por ser uma variável ainda não utilizada.

Até onde sabemos, poucos estudos na literatura avaliaram a correlação entre os parâmetros clássicos da JCV e os ângulos da coluna cervical no contexto da IB. Alguns estudos apresentados na Tabela 3 tiveram esse objetivo, mas há diferenças sutis no critério DOCL para a definição de IB, bem como nas referências anatômicas para os ângulos da ABW e da coluna cervical (BAYSAL; ESER; SORKUN, 2022; BOTELHO; FERREIRA, 2013; DINIZ; BOTELHO, 2020; JIAN et al., 2022; JOAQUIM et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2019). Esses aspectos podem contribuir para essa variabilidade dos valores descritivos.

O presente estudo tem as seguintes limitações. Primeiramente, analisou-se a angulação da coluna cervical entre C2-C6, o que pode ter subestimado os valores de lordose cervical em sua totalidade e, conseqüentemente, a força das correlações também pode ter sido subestimada. Segundo, por se tratar de um estudo retrospectivo, não foi possível correlacionar os valores das medidas com os testes clínicos de mobilidade cervical, de modo que os dados obtidos apresentam um perfil morfológico. Entretanto, o presente estudo pode servir de protocolo para estudos futuros em que os valores craniométricos da JCV e da coluna cervical possam ser correlacionados com dados de mobilidade cervical e avaliação neurológica.

7. ARTIGO 1 – Effect of the basilar invagination (type B) on cervical spine: a case-control study at MRI

European Spine Journal

Effect of the basilar invagination (type B) on cervical spine: a case-control study at MRI --Manuscript Draft--

Manuscript Number:	ESJO-D-23-01803R1
Full Title:	Effect of the basilar invagination (type B) on cervical spine: a case-control study at MRI
Article Type:	Original Article
Keywords:	Basilar invagination; cervical spine; cervical lordosis; platybasia; clivus.
Corresponding Author:	José Jailson Costa do Nascimento Universidade Federal de Pernambuco Recife, BRAZIL
Corresponding Author Secondary Information:	
Corresponding Author's Institution:	Universidade Federal de Pernambuco
Corresponding Author's Secondary Institution:	
First Author:	Karl M. S. Silva, Msc.
First Author Secondary Information:	
Order of Authors:	Karl M. S. Silva, Msc. Leandro M. Silva, Msc José Jailson Costa do Nascimento Áquila M. Soares, MD Wiginio G. L. Bandeira, Msc Severino A. Araújo-Neto, MD, PhD Juliana P. Medeiros, PhD
Order of Authors Secondary Information:	
Funding Information:	
Abstract:	<p>Objective: To evaluate the effect of the basilar invagination (BI) type B in the cervical spine.</p> <p>Methods: The research protocol used head magnetic resonance imaging (MRI) exams from 41 participants with BI type B and 158 controls. The criterion for BI was the distance of the odontoid apex to Chamberlain's line (DOCL) equal to or greater than 7 mm. The clivus length (CLI), clivus canal angle (CCA), Welcker's basal angle (WBA), Boogaard's angle (BOA), upper cervical lordosis angle (UCL), and total cervical lordosis angle (CL) were evaluated. The descriptive analysis, group comparisons, and correlations between skull base and cervical spine parameters were performed at the 95% confidence interval.</p> <p>Results: participants with BI type B showed shorter clivus length (CLI: 25.7mm±7.3); greater angulation of the skull base (WBA: 126.5±10.4); greater inclination foramen magnum (BOA: 151.5±14.5); decrease in the value of the (CCA: 131.6±15); and greater angulations of UCL (17.9 ±13.8) and CL (29.7 ±19.9) in comparison to the control group (P < 0.05). Clivus length and CCA correlated inversely with UCL and CL, while BOA correlated directly with UCL and CL. The WBA did not correlate with CL (P < 0.05).</p> <p>Conclusion: The deformation of skull base in the BI of type B caused, on average, a hyperlordosis of almost 30 degrees in the C2-C6 segment. This change was approximately 17° in the C2-C4, with the clivus hypoplasia being a risk factor for cervical hyperlordosis. In addition, platybasia was not a determining factor in increasing the total angulation of cervical lordosis.</p>
Response to Reviewers:	Dear Reviewers and Editor
	We would like to thank you for your valuable comments and suggestions regarding this manuscript. We seek to meet your requests as well as to clarify doubts and questions. Yours sincerely

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A deformação da base do crânio no IB do tipo B causou, em média, uma hiperlordose de quase 30 graus no segmento C2-C6. Essa alteração foi de aproximadamente 17° no C2-C4, sendo a hipoplasia do clivo um fator de risco para hiperlordose cervical. Além disso, a platibasia não foi um fator determinante no aumento da angulação total da lordose cervical.

9. REFERÊNCIAS

- AMANTÉA, D. V. et al. A importância da avaliação postural no paciente com disfunção da articulação temporomandibular. **Acta Ortopédica Brasileira**, v. 12, n. 3, p. 155–159, set. 2004.
- BAYSAL, B.; ESER, M. B.; SORKUN, M. Radiological approach to basilar invagination type B: Reliability and accuracy. **Journal of Neuroradiology**, v. 49, n. 1, p. 33–40, 1 jan. 2022.
- BEYER, B.; FEIPEL, V.; DUGAILLY, P. M. Biomechanics of the upper cervical spine ligaments in axial rotation and flexion-extension: Considerations into the clinical framework. **Journal of Craniovertebral Junction and Spine**, v. 11, n. 3, p. 217–225, 1 jul. 2020.
- BÍBLIA, A. T. Provérbios. In: BÍBLIA. **Bíblia de estudo da reforma**. Tradução de João Ferreira Almeida. Barueri: Sociedade Bíblica do Brasil, 2017. p. 1012.
- BIENVENU, T. et al. Assessing endocranial variations in great apes and humans using 3D data from virtual endocasts. **American Journal of Physical Anthropology**, v. 145, n. 2, p. 231–246, jun. 2011.
- BOTELHO, R. Basilar Invagination: cranio-cervical kyphosis rather than prolapse from the upper cervical spine. **Journal of Neurology and Neuromedicine**, v. 2, n. 3, p. 15–19, 1 mar. 2017.
- BOTELHO, R. V.; FERREIRA, E. D. Z. Angular craniometry in craniocervical junction malformation. **Neurosurgical Review**, v. 36, n. 4, p. 603–610, 2013.
- BOTELHO, R. V.; FERREIRA, J. A.; ZANDONADI FERREIRA, E. D. Basilar Invagination: A Craniocervical Kyphosis. **World Neurosurgery**, v. 117, p. e180–e186, 1 set. 2018.
- BARROS, C. M. et al. Basilar impression and Arnold-Chiari malformation. A study of 66 cases. **Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry**, v. 31, n. 6, p. 596–605, 1 dez. 1968.
- CANELAS, H. M. et al. Malformações occípito-cervicais: a propósito de vinte novos casos. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 14, n. 1, p. 1–27, mar. 1956.
- CANELAS, H. M.; ZACLIS, J.; TENUTO, R. A. Contribuição ao estudo das malformações occípito-cervical, particularmente da impressão basilar. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 10, n. 4, p. 407–476, dez. 1952.
- CARVALHO NETO, A. DE; BERTHOLDO, D. B. Craniocervical junction abnormalities in northeast Brazilian population. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 75, n. 7, p. 410–411, jul. 2017.
- CHARBONNEAU, L. et al. **Anatomy of the craniocervical junction — A review**. **Neurochirurgie** Elsevier Masson s.r.l., , 1 maio 2024.
- CHEN, X. Y. et al. Surgical outcomes of basilar invagination type B without atlantoaxial dislocation through simple posterior fossa decompression: a retrospective study of 18 cases. **Acta Neurochirurgica**, v. 165, n. 10, p. 3051–3063, 1 out. 2023.
- CHEN, Y.-F.; LIU, H.-M. Imaging of Craniovertebral Junction. **Neuroimaging Clinics of North America**, v. 19, n. 3, p. 483–510, ago. 2009.
- DE FARIAS NETO, J. P. et al. Radiographic measurement of the cervical spine in patients with temporomandibular dysfunction. **Archives of Oral Biology**, v. 55, n. 9, p. 670–678, set. 2010.

- DINIZ, J. M.; BOTELHO, R. V. The role of clivus length and cranial base flexion angle in basilar invagination and Chiari malformation pathophysiology. **Neurological Sciences**, v. 41, n. 7, p. 1751–1757, 1 jul. 2020.
- FRADE, H. C. et al. Cranio-vertebral transition assessment by magnetic resonance imaging in a sample of a northeast Brazilian population. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 75, n. 7, p. 419–423, 2017.
- GOEL, A. **Treatment of basilar invagination by atlantoaxial joint distraction and direct lateral mass fixation**. [s.l.: s.n.].
- GOEL, A. **Basilar invagination, Chiari malformation, syringomyelia: A review**. **Neurology India**, 1 jul. 2009.
- GOEL, A.; BHATJIWALE, M.; DESAI, K. Basilar invagination: a study based on 190 surgically treated patients. **Journal of Neurosurgery**, v. 88, n. 6, p. 962–968, jun. 1998.
- GOEL, A.; SATHE, P.; SHAH, A. Atlantoaxial Fixation for Basilar Invagination without Obvious Atlantoaxial Instability (Group B Basilar Invagination): Outcome Analysis of 63 Surgically Treated Cases. **World Neurosurgery**, v. 99, p. 164–170, 1 mar. 2017.
- HOU, Z. et al. Basilar invagination without atlantoaxial dislocation: treatment by correction of clivus canal angle with interfacet distraction and fixation. **BMC Musculoskeletal Disorders**, v. 23, n. 1, 1 dez. 2022.
- HUGGARE, J. Å.; RAUSTIA, A. M.; MAKOFSKY, H. W. Head Posture and Cervicovertebral and Craniofacial Morphology in Patients with Craniomandibular Dysfunction. **CRANIO**, v. 10, n. 3, p. 173–179, 18 jul. 1992.
- JIAN, Q. et al. Basilar Invagination: A Tilt of the Foramen Magnum. **World Neurosurgery**, v. 164, p. e629–e635, 1 ago. 2022.
- JOAQUIM, A. F. et al. Incidence of basilar invagination in patients with tonsillar herniation – A case control craniometrical study. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 72, n. 9, p. 706–711, 1 set. 2014.
- KAPANDJI, I. A. **Fisiologia articular**. 6. ed. Guanabara Koogan, 2009. v. 3
- MENEZES, A. H. Craniovertebral junction anomalies: Diagnosis and management. **Seminars in Pediatric Neurology**, v. 4, n. 3, p. 209–223, set. 1997.
- NASCIMENTO, J. J. C. DO et al. CRANIAL MEASUREMENT INDICES IN THE STATE OF PARAIBA, NORTHEAST OF BRAZIL. **International Journal of Anatomy and Research**, v. 4, n. 3.2, p. 2637–2642, 31 ago. 2016.
- NASCIMENTO, J. J. C. et al. Relationship between basilar invagination and brachycephaly in Northeastern Brazil. **European Journal of Radiology**, v. 104, p. 58–63, jul. 2018.
- NASCIMENTO, J. J. C. et al. Diagnostic accuracy of classical radiological measurements for basilar invagination of type B at MRI. **European Spine Journal**, v. 28, n. 2, p. 345–352, 5 fev. 2019.
- NETO, A. DE C.; BERTHOLDO, D. B. Craniocervical junction abnormalities in northeast Brazilian population. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 75, n. 7, p. 410–411, jul. 2017.
- NISHIKAWA, M. et al. Pathogenesis of Chiari malformation: a morphometric study of the posterior cranial fossa. **Journal of Neurosurgery**, v. 86, n. 1, p. 40–47, jan. 1997.

- PANG, D.; THOMPSON, D. N. P. **Embryology, classification, and surgical management of bony malformations of the craniovertebral junction. Advances and technical standards in neurosurgery**, 2014.
- PATWARDHAN, A. G. et al. Cervical sagittal balance: a biomechanical perspective can help clinical practice. **European Spine Journal**, v. 27, n. S1, p. 25–38, 6 fev. 2018.
- SHAH, A.; SERCHI, E. Management of basilar invagination: A historical perspective. **Journal of Craniovertebral Junction and Spine**, v. 7, n. 2, p. 96, 2016.
- SHOJA, M. M. et al. Embryology of the craniocervical junction and posterior cranial fossa, part I: Development of the upper vertebrae and skull. **Clinical Anatomy**, v. 31, n. 4, p. 466–487, 1 maio 2018.
- SILVA, J. A. G. DA et al. Achados cirúrgicos em 260 casos de impressão basilar e/ou malformação de Arnold-Chiari. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 52, n. 3, p. 363–369, set. 1994.
- SILVA, J. A. G. DA et al. Posterior fossa decompression with tonsillectomy in 104 cases of basilar impression, Chiari malformation and/or syringomyelia. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 69, n. 5, p. 817–823, out. 2011.
- SILVA, J. A. G. DA; SILVA, C. E. G. DA. Complicações pós-operatórias em 139 casos de impressão basilar e/ou malformação de Arnold-Chiari. **Arquivos de Neuro-Psiquiatria**, v. 39, n. 3, p. 306–316, set. 1981.
- SMOKER, W. R. Craniovertebral junction: normal anatomy, craniometry, and congenital anomalies. **RadioGraphics**, v. 14, n. 2, p. 255–277, mar. 1994.
- TANG, J. A. et al. The Impact of Standing Regional Cervical Sagittal Alignment on Outcomes in Posterior Cervical Fusion Surgery. **Neurosurgery**, v. 71, n. 3, p. 662–669, set. 2012.