



Arkuat Foramen: Atlasın Hatırlanması Gereken Önemli Bir Varyasyonu

Arcuate Foramen: An Essential Variation of the Atlas That Should Keep in Mind

Neşe Keser,¹ Arzu Atıcı,² Banş Yılmaz,³ Esin Derin Çiçek,⁴
 Ali Fatih Ramazanoğlu,⁵ Ali Demiraslan¹

ÖZET

Birinci servikal vertebranın (atlas) varyasyonlarından olan arkuat foramen (AF) vertebral arter sulkusu üzerinde lokalizedir ve tanısında bilgisayarlı tomografi altın standarttır. Komplet ve inkomplet tipleri olan arkuat foramenin rastlanma sıklığı toplumlara, etnik gruplara ve inceleme yöntemine göre değişmekte olup %1-68 arasında değişen oranlar bildirilmektedir. İçinden, vertebral arterin üçüncü segmenti, suboksipital sinir, perivasküler sempatik pleksus ve vertebral venöz pleksus geçmektedir. Arkuat foramen içinden geçen yapılara yaptığı basının derecesine göre bulgu vermekte olup komplet tipte olanının klinik bulgu verme olasılığı daha yüksektir. Boynu aşırı zorlayan travmalar ve üst servikal bölgeye uygulanan cerrahi girişimler esnasında vertebral arter diseksiyonuna neden olma potansiyelinin yüksek olması nedeniyle arkuat foramen ayrıca önem taşımaktadır. Bu çalışmada son literatürler de incelenip bilimsel kanıtlar eşliğinde arkuat foramenin klinik önemi özetlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Anatomik varyasyon; arkuat foramen; atlas; servikal omurga.

ABSTRACT

The arcuate foramen (AF), one of the variations of the first cervical vertebra (atlas), is localized on the vertebral artery (VA) sulcus, and computed tomography is the gold standard in its diagnosis. AF has complete and incomplete types, and its incidence varies according to societies, ethnic groups, and examination methods, ranging from 1% to 68%. The third segment of the VA, the suboccipital nerve, the perivascular sympathetic plexus, and the vertebral venous plexus pass through it. It gives symptoms according to the degree of pressure on the structures passing through it, and the complete type is more likely to give clinical findings. AF is also important because of its potential to cause VA dissection during neck traumas and surgical procedures applied to the upper cervical region. In this study, the latest literature was reviewed, and the clinical importance of AF was summarized in the light of scientific evidence.

Keywords: Anatomical variation; arcuate foramen; atlas; cervical spine.

Arkuat foramen (AF) birinci servikal vertebranın (atlas) varyasyonlarından biridir. İlk defa 1879 yılında açıklanmış olup birden fazla isim verilmesi (Tablo 1) ve çoğu yazar tarafından Kimmerle'nin 1930 yılında yaptığı tanıma atfedilmesi nedeniyle karıştırılabilmektedir.^{1,2}

Anatomi

Kemik spikül yapısında olan AF'in anatomik

lokasyonu atlasın posterior arkındaki vertebral arter (VA) oluğunun (sulkus arteriya vertebralis) üzerindedir. Süperior artiküler fasetten (Tip 1) veya posterior arktan (Tip 2) ya da her ikisinden birden kaynaklanmaktadır (Tip 3) (Şekil 1). Bilateral spikül varlığında köprülenme tam olduğunda Tip 4 (komplet) AF olarak adlandırılmaktadır (Şekil 2). Bu lokalizasyonu nedeniyle AF, VA'nın üçüncü segmentini (V3), suboksipi-

¹Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye
²Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Fiziksel Tıp ve Rehabilitasyon Kliniği, İstanbul, Türkiye
³Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Ortopedi ve Travmatoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye
⁴Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Fatih Sultan Mehmet Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Radyoloji Kliniği, İstanbul, Türkiye
⁵Sağlık Bilimleri Üniversitesi, Ümraniye Eğitim ve Araştırma Hastanesi, Beyin ve Sinir Cerrahisi Kliniği, İstanbul, Türkiye

Atıf için yazım şekli: Keser N, Atıcı A, Yılmaz B, Çiçek ED, Ramazanoğlu AF, Demiraslan A. Arkuat Foramen: Atlasın Hatırlanması Gereken Önemli Bir Varyasyonu. Bosphorus Med J 2022;9(3):204–208.

Başvuru tarihi: 07.02.2022
Kabul tarihi: 07.03.2022

Yazışma Adresi:

Dr. Neşe Keser,
SBÜ, Fatih Sultan Mehmet
Eğitim ve Araştırma
Hastanesi, Beyin ve Sinir
Cerrahisi Bölümü,
İstanbul, Türkiye

Tel:
+90 532 332 64 07

e-posta:
nkeser@gmail.com

OPEN ACCESS



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Tablo 1. Arkuat forameni tanımlamada kullanılan diğer isimlendirmeler

Pontikulus postikus
Kimmerle anomalisi/varyantı/deformitesi
Atlas köprüsü
Atlasın posterior pontikülü
Foramen atlantoideum posterior/vertebral
Süperior retroartiküler foramen
Foramen sagittale
Kanalis arteria vertebralis
Pons postikus
Posterior atlantoid foramen
Posterior glenoid proses
Posterior glenoid spikulum
Retroartiküler kanal
Retroartiküler vertebral arter halka
Retroartiküler vertebral halka
Retrokondiler kemik foramen
Retrokondiler vertebral arter halka

tal siniri, vertebral venöz pleksus ve perivasküler sempatik pleksusu kısmen veya tamamen çevreler.^[2-6]

Etyoloji

Alt seviye omurgalılar ve primatların karakteristik bir özelliği olarak kabul edilen AF'in etyolojisi tartışmalı olup birçok etyolojik hipotez ileri sürülmüştür. Bazı yazarlar fetüslerde ve çocuklarda varlığını gösteren kadavra ve radyolojik çalışmalara atıfta bulunarak doğuştan olduğunu iddia etmekte, başka bir alternatif teoride ise arka atlantookspital membrandaki dejeneratif kalsifikasyona bağlı yani edinilmiş olduğu öne sürülmektedir.^[2,7-11]

Prevalans ve Tanı Yöntemleri

AF prevalansı coğrafi bölge, etnik gruplar ve ayrıca inceleme yöntemine göre değişmektedir. Prevalans çalışmalarında

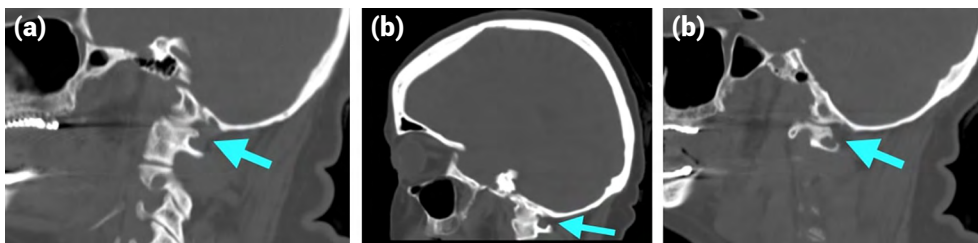
kadavra çalışmaları, kuru atlas incelemeleri, lateral radyografiler veya bilgisayarlı tomografi (BT) taramaları gibi çeşitli metodolojiler kullanılmaktadır. Bu nedenle literatürde AF prevalansında %1-68 arasında yani oldukça geniş aralıkta değişen oranlar bildirilmektedir.^[1-4,6,8,11-16]

Kadavra veya BT tabanlı çalışmalar AF'in morfolojisini radyografilere dayalı çalışmalara kıyasla daha doğru bir şekilde değerlendirebilmektedir. Bu nedenle, günümüzde bu varyasyonu tespit etmek için canlılarda BT çalışması tercih edilmektedir (Şekil 1, 2a).^[1,4,17] Bu konuda en son yapılan iki çalışmadan biri olan ve kuzey Amerika'da kavrular üzerinde yapılmış bir çalışmada komplet AF oranı %30, Türk toplumunda BT ile yapılmış diğer çalışmada ise %19,4 olarak bildirilmiştir.^[14,16]

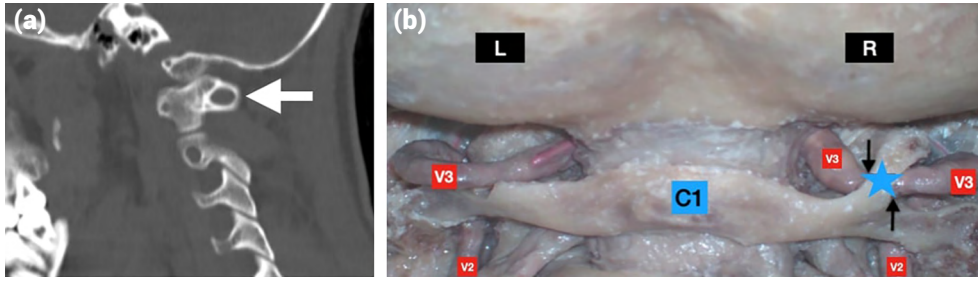
Klinik Görünüm ve Arkuat Foramenin Önemi

Bu anatomik varyasyon spinal cerrahi, fiziksel tıp ve rehabilitasyon, nöroloji, diş hekimliği, cildiye, kulak burun boğaz ve anestezi literatüründe bildirilmektedir.

AF varlığının tek olumlu tarafı atlasta kortikal kemik kalınlaşması nedeniyle AF'i olmayan deneklere kıyasla daha düşük kırık riskine yol açmasıdır.^[18] Ancak, AF varyasyonunun içinde VA'e venöz pleksus, perivasküler sempatik pleksus ve suboksipital sinir eşlik etmektedir.^[1,3-5] VA'ler, C1'in transvers foramenlerinden geçtikten sonra sulkus arteria vertebralis olarak bilinen bir oluk vasıtasıyla atlasın arka kemeri boyunca ilerler. Posterior atlantookspital membran, VA'lerin üzerinde kavis çizerek, içinden geçmeleri için küçük bir pencere oluşturur. Bu seviyede VA'ların atlantookspiyel ekleme yakın olmaları nedeniyle gerilme ve kompresyona karşı çok hassas oldukları düşünülür.^[7] AF, içinden geçen yapıları ya sıkıştırarak ya da bir bağ gibi davranarak etkiler.^[1] Nitekim, kavrular üzerinde yapılan çalışmalarda da komplet AF'in içinden geçen nörovasküler yapılara baskı oluşturduğu gösterilmiştir (Şekil 2b).^[5,16]



Şekil 1. Atlasın arkuat foramen (AF) varyasyonunun tiplerini gösteren bilgisayarlı tomografi (BT) resimleri. (a) Sagittal servikal BT'de atlasın tip 1, inkomplet, AF varyasyonu (Turkuaz ok). (b) Sagittal kranial BT'de atlasın tip 2, inkomplet, AF varyasyonu (Turkuaz ok). (c) Sagittal servikal BT'de atlasın tip 3, inkomplet, AF varyasyonu (Turkuaz ok).



Şekil 2. Atlasın komplet arkuat foramen (AF) varyasyonunu gösteren resimler. **(a)** Sagittal servikal BT'de atlasın tip 4, komplet, AF varyasyonu (Beyaz ok). **(b)** Atlasın sağ tarafındaki komplet AF gösteren kadavra diseksiyon resmi. R: Sağ oksipital kemik, C1: Birinci servikal vertebra (atlas), Mavi yıldız: Komplet AF, V2: Vertebral arterin ikinci segmenti, Siyah oklar: AF'in vertebral arterin üçüncü segmenti (V3) üzerine yaptığı baskı işaretleri.

Barre ve Lieou, AF varlığında klinik olarak, baş ağrısı semptomları, retroorbital ağrı, vazomotor yüz rahatsızlıkları ve görme, yutma ve fonasyon ile ilgili tekrarlayan semptomların olduğunu ve bu semptomların VA'lar içindeki kan akışındaki değişimleri ve periarteriyel sempatik plexusla ilişkili olarak geliştiği varsayımında bulunmuşlardır.^[19,20] Ayrıca, bir makalede nevoid bazal hücreli karsinom sendromlu (Gorlin sendromu) hasta kohortunda olguların %50'sinde AF prevalansı tanımlanmıştır.^[21] Gorlin sendromu, değişken fenotipli nadir bir tümör tipine yakınlık olup tümörlerin yanı sıra bifid kaburgalar veya frontal çıkıntı gibi iskelet değişiklikleri fenotipi oluşturmaktadır.

Bilateral ve komplet AF'in daha fazla klinik bulgu verdiği, Barre Louie sendromu dışında vertebrobaziler (VB) yetmezlik, bow hunter sendromu, Wallenberg sendromu, boynu zorlayan travmalarda ve üst servikal bölgeye uygulanan cerrahi girişimlerde VA diseksiyonuna neden olabileceği bildirilmiştir.^[1,2,4-6,13,16,20,22-30] Cerrahi alanda kısmen açığa çıkan bir AF'in geniş bir arka atlas arkına benzediği dikkate alınır ise VA'dan geçen sert bir vida yörüngesine bu nedenle de VA'da yaralanma, kanama, diseksiyon ve tromboza neden olabilir. Bu risk, AF iki taraflı olduğunda daha da artmakta olup atlası uygulanacak cerrahi öncesinde AF varlığının araştırılması çok önemlidir. Cerrahi esnasında VA'e zarar vermektan kaçınmak için vida yörüngesinin modifikasyonu yapılmalı, AF varlığı atlasın vida fiksasyonu için bir kontrendikasyon olarak görülmemelidir.^[1,31]

Bununla birlikte, bu varyasyonun cerrahideki önemi, kraniyovertebral bileşke ameliyatları ile sınırlı değildir. Bir olgu raporunda, intraoperatif VB inme bildirilmiş, intraoperatif boyun hiperekstansiyonunun bilateral AF tarafından bağlanan VA'i bükmüş olabileceği öne sürülmüştür.^[7] Bu olay, AF varyasyonuna sahip olduğu belirlenen hastalarda hem cerrah hem de anestezi uzmanlarının o kurumdaki intrao-

peratif konumlandırma kurallarını değiştirmeye neden olmuştur.^[1]

Atlasın sadece kemikli halka şeklinde bir yapı oluşturması, dönme hareketine izin verdiği için önemlidir. Baş rotasyonunun %50'den fazlası alantoaksiyel eklemden meydana gelir ve VA'in en savunmasız yeri C1-C2 seviyesinde özellikle de transvers foramenlerdeki ve sulkus arteria vertebralis-teki geçişindedir.^[2] VA tıkanıklığının, en yaygın olarak bu bölgelerde VA'ların hareketsiz kalması ve gerilmesi nedeniyle meydana geldiği düşünülmektedir. AF gibi VA için ek bir kemik kanalının varlığı kafa hareketleri için kısıtlamayı temsil edebilir ve V3 segmentinin sıkıştırılması yoluyla VA yaralanmasına yakınlık oluşturabilir.^[2,5,7,24,32] AF'e bağlı VA diseksiyonu kayropratik tedavi gibi boyuna aşırı rotasyon hareketleri verme gerektiren servikal manipülasyonlar esnasında, çocuklarda ve ergenlerde tekrarlayan servikal travmalara bağlı olarak da gelişebilmektedir.^[24,30] Ayrıca, AF varlığının posterior sirkülasyon inme insidansı ile ilişkili olduğu, bu durumdan da VA'lerde tekrarlayan ve hatta minimal yaralanmaların sorumlu olduğu öne sürülmüştür.^[2,24,33] Cushing ve ark.^[24] 12 çocuktan oluşan bir olgu serisinin dokuzunda AF ve bunlardan üçünde iki taraflı posterior inme saptadıklarını bildirmişlerdir. Çocukların boyunlarının erişkinlere göre daha hareketli olması ve normalde atlasın sulkusunda kayan arterin AF nedeni ile gerilmesi sonucunda intimal hasara yol açtığını belirterek, VA diseksiyonu ile AF varlığı arasında bağlantı olduğunu bildirmişlerdir.

Yöntemler

AF'e bağlı gelişen basının tedavisinde ilk planda, antiinflamatuvar ve miyorelaksan tedavi, bölgeye ultrason, transkütanöz elektriksel sinir stimülasyonu, sıcak paket uygulaması ve izometrik egzersizler gibi fizik tedavi programı önerilmekte, bu tipte konservatif yaklaşımlarla yakınmalar

kontrol altına alınabilmektedir.^[34] Tıbbi tedaviye yanıt vermeyen AF olgularının tedavisinde ise foraminal dekompresyon tedavi alternatifi olarak uygulanabilmektedir. Nitekim foraminal dekompresyondan sonra semptomların düzeldiğine dair çeşitli raporlar, AF'in hastalığa neden olma olasılığındaki rolünü ve idiyopatik olduğu düşünülen birçok patolojinin etyolojisinde AF'in bulunabileceğini göstermiştir. ^[1,20,24,30] Buna karşılık genç olguların %13,33'ü dekompresyona yanıt vermemektedir.^[20,35] Dekompresyona yanıt alınamamasının nedeni günümüze kadar anlaşılammış olup yakın tarihli bir çalışmada bu durumun AF varyasyonunun karşı tarafında bulunan VA hipoplazisine bağlı olabileceği bildirilmiştir. Ayrıca, bu olguların manyetik rezonans anjiyografilerinde (MRA) kontrateral VA hipoplazisi %10 oranında saptanarak bu durumda dekompresyon cerrahisinin uygulanmaması önerilmiştir.^[14]

Sonuç

Boyun kökenli baş ağrısı, boyun ağrısı, migren, baş dönmesi, posterior fossa iskemisi ve VA diseksiyonlarından atlasın AF varyasyonunun da sorumlu olabileceği hatırlanmalıdır. Ayrıca, boyuna hiperekstansiyon ya da rotasyon verilmesini gerektirecek manipülasyonlar ve atlasın enstrümantasyonunu gerektirecek cerrahi girişimler öncesinde, AF varyasyonuna bağlı gelişebilecek komplikasyonlardan kaçınmak amacıyla, olguların servikal BT'leri dikkatli bir şekilde gözden geçirilmelidir. İlaveten, dekompresyon cerrahisi kararı öncesinde MRA ile VA hipoplazisi araştırılmalı, AF'in karşı tarafında VA hipoplazisi saptanırsa olgular cerrahiden yararlanmayabilecekleri konusunda aydınlatılmalıdır.

Açıklamalar

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Bildirilmemiştir.

Yazarlık Katkıları: Konsept – N.K.; Dizayn – N.K., A.A.; Denetim – N.K., E.D.Ç., A.A.; Materyal – N.K., B.Y., E.D.Ç.; Veri toplama veya işleme – N.K., A.F.R., A.D.; Analiz ve yorumlama – N.K., A.A., E.D.Ç., B.Y.; Literatür arama – N.K., A.F.R., A.D.; Yazan – N.K.; Kritik revizyon – N.K., E.D.Ç., A.A.

Kaynaklar

1. Baeesa SS, Bokhari RF, Bajunaid KM, Al-Sayyad MJ. Prevalence of the foramen arcuale of the atlas in a Saudi population. *Neurosciences (Riyadh)* 2012;17:345–51.
2. Cossu G, Terrier LM, Destrieux C, Velut S, François P, Zemmoura I, et al. Arcuate foramen: "Anatomical variation shape or adaptation legacy?". *Surg Radiol Anat* 2019;41:583–8.
3. Hong JT, Lee SW, Son BC, Sung JH, Yang SH, Kim IS, et al. Analysis of anatomical variations of bone and vascular structures around the posterior atlantal arch using three-dimensional computed tomography angiography. *J Neurosurg Spine* 2008;8:230–6.
4. Saleh A, Gruber J, Bakhsh W, Rubery PT, Mesfin A. How common is the ponticulus posticus?: A computed tomography based analysis of 2917 patients. *Spine (Phila Pa 1976)* 2018;43:E436–41.
5. Tubbs RS, Johnson PC, Shoja MM, Loukas M, Oakes WJ. Foramen arcuale: Anatomical study and review of the literature. *J Neurosurg Spine* 2007;6:31–4.
6. Pękala PA, Henry BM, Phan K, Pękala JR, Tattera D, Walocha JA, et al. Presence of a foramen arcuale as a possible cause for headaches and migraine: Systematic review and meta-analysis. *J Clin Neurosci* 2018;54:113–8.
7. Brown M, Verheyden C. Posterior fossa infarction following cleft palate repair and the arcuate foramen. *Plast Reconstr Surg* 2009;124:237e–9e.
8. Le Minor JM, Trost O. Bony ponticles of the atlas (C1) over the groove for the vertebral artery in humans and primates: Polymorphism and evolutionary trends. *Am J Phys Anthropol* 2004;125:16–29.
9. Lamberty BG, Zivanović S. The retro-articular vertebral artery ring of the atlas and its significance. *Acta Anat (Basel)* 1973;85:113–22.
10. Paraskevas G, Papaziogas B, Tsonidis C, Kapetanios G. Gross morphology of the bridges over the vertebral artery groove on the atlas. *Surg Radiol Anat* 2005;27:129–36.
11. Taitz C, Nathan H. Some observations on the posterior and lateral bridge of the atlas. *Acta Anat (Basel)* 1986;127:212–7.
12. Ahn J, Duran M, Syldort S, Rizvi A, D'Antoni AV, Johal J, et al. Arcuate foramen: Anatomy, embryology, nomenclature, pathology, and surgical considerations. *World Neurosurg* 2018;118:197–202.
13. Cakmak O, Gurdal E, Ekinci G, Yildiz E, Cavdar S. Arcuate foramen and its clinical significance. *Saudi Med J* 2005;26:1409–13.
14. Derin Cicek E, Keser N, Is M, Ates O. Can intracranial vertebral artery hypoplasia be an etiopathogenetic factor for Barré-Liéou Syndrome other than arcuate foramen? A retrospective clinical study and review of the literature. *Turk Neurosurg* 2021.
15. Gibelli D, Cappella A, Cerutti E, Spagnoli L, Dolci C, Sforza C. Prevalence of ponticulus posticus in a Northern Italian orthodontic population: A lateral cephalometric study. *Surg Radiol Anat* 2016;38:309–12.
16. Keser N, Cıkla U, Ozaydın B, Baskaya MK. The importance of arcuate foramen, a variation of the atlas: A microsurgical cadaveric study and review of the literature. *Istanbul Med J* 2019;20:377–81.
17. Cho YJ. Radiological analysis of ponticulus posticus in Koreans. *Yonsei Med J* 2009;50:45–9.
18. Sanchis-Gimeno JA, Llido S, Guede D, Nalla S, Martinez-Soriano F, Blanco-Perez E, et al. Atlases with arcuate foramen present cortical bone thickening that may contribute to lower fracture risk. *World Neurosurg* 2018;117:e162–6.
19. Foster CA, Jabbour P. Barré-Lieou syndrome and the problem of the obsolete eponym. *J Laryngol Otol* 2007;121:680–3.
20. Limousin CA. Foramen arcuale and syndrome of Barre-Lieou. Its surgical treatment. *Int Orthop* 1980;4:19–23.
21. Friedrich RE. Ponticulus posticus is a frequent radiographic

- finding on lateral cephalograms in nevoid basal cell carcinoma syndrome (Gorlin-Goltz syndrome). *Anticancer Res* 2014;34:7395–9.
22. Arslan D, Ozer MA, Govsa F, Kitis O. The ponticulus posticus as risk factor for screw insertion into the first cervical lateral mass. *World Neurosurg* 2018;113:e579–85.
 23. Chitroda PK, Katti G, Baba IA, Najmudin M, Ghali SR, Kalmath B, G V. Ponticulus posticus on the posterior arch of atlas, prevalence analysis in symptomatic and asymptomatic patients of gulbarga population. *J Clin Diagn Res* 2013;7:3044–7.
 24. Cushing KE, Ramesh V, Gardner-Medwin D, Todd NV, Gholkar A, Baxter P, et al. Tethering of the vertebral artery in the congenital arcuate foramen of the atlas vertebra: A possible cause of vertebral artery dissection in children. *Dev Med Child Neurol* 2001;43:491–6.
 25. Elliott RE, Tanweer O. The prevalence of the ponticulus posticus (arcuate foramen) and its importance in the Goel-Harms procedure: Meta-analysis and review of the literature. *World Neurosurg* 2014;82:e335–43.
 26. Lutsik AA, Peganov AI, Kazantsev VV, Ratkin IK. Vertebrobasilar insufficiency due to osseous abnormalities of the craniovertebral junction. *Hir Pozvonoc* 2016;13:49–55.
 27. Shimizu T, Waga S, Kojima T, Niwa S. Decompression of the vertebral artery for bow-hunter's stroke. Case report. *J Neurosurg* 1988;69:127–31.
 28. Taylor WB 3rd, Vandergriff CL, Opatowsky MJ, Layton KF. Bowhunter's syndrome diagnosed with provocative digital subtraction cerebral angiography. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* 2012;25:26–7.
 29. Travan L, Saccheri P, Gregoraci G, Mardegan C, Crivellato E. Normal anatomy and anatomic variants of vascular foramina in the cervical vertebrae: A paleo-osteological study and review of the literature. *Anat Sci Int* 2015;90:308–23.
 30. Wight S, Osborne N, Breen AC. Incidence of ponticulus posterior of the atlas in migraine and cervicogenic headache. *J Manipulative Physiol Ther* 1999;22:15–20.
 31. Young JP, Young PH, Ackermann MJ, Anderson PA, Riew KD. The ponticulus posticus: Implications for screw insertion into the first cervical lateral mass. *J Bone Joint Surg Am* 2005;87:2495–8.
 32. Cirpan S, Yonguc GN, Edizer M, Mas NG, Magden AO. Foramen arcuale: A rare morphological variation located in atlas vertebrae. *Surg Radiol Anat* 2017;39:877–84.
 33. Ouyang ZY, Qiu MJ, Zhao Z, Wu XB, Tong LS. Congenital anomaly of the posterior arch of the atlas: A rare risk factor for posterior circulation stroke. *J Neurointerv Surg* 2017;9:e27.
 34. Terzi R, Özer T. Symptomatic Kimmerle's anomaly with vertebrobasilar insufficiency signs: A case report. *Turk J Phys Med Rehab [Article in Turkish]* 2016;62:174–7.
 35. Lvov I, Lukianchikov V, Grin A, Sytnik A, Polunina N, Krylov V. Minimally invasive surgical treatment for Kimmerle anomaly. *J Craniovertebr Junction Spine* 2017;8:359–63.