

T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ
İSTANBUL TIP FAKÜLTESİ
ORTOPEDİ VE TRAVMATOLOJİ ANABİLİM DALI



**KALÇA ULTRASON TARAMALARINDA BİLGİSAYAR
YARDIMLI STANDART PLAN TANIMLANMASI VE
KLİNİK KORELASYONU**

Tıpta Uzmanlık Tezi

Dr. Muhammed Furkan Darılmaz

DANIŞMAN

Prof. Dr. Hayati Durmaz

İSTANBUL-2023

BEYAN

Bu tez çalışmasının kendi çalışmam olduğunu, tezin planlanmasından yazımına kadar bütün safhalarda etik dışı davranışımın olmadığını, bu tezdeki bütün bilgileri akademik ve etik kurallar içinde elde ettiğimi, bu tez çalışmasıyla elde edilmeyen bütün bilgi ve yorumlara kaynak gösterdiğimi ve bu kaynakları da kaynaklar listesine aldığımı, yine bu tezin çalışılması ve yazımı sırasında patent ve telif haklarını ihlal edici bir davranışımın olmadığını beyan ederim.

Dr. Muhammed Furkan Darılmaz



TEŞEKKÜR

Uzmanlığa adım atmanın heyecanını yaşarken üzerimde emeği geçen İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı ailemizin her bireyine teşekkürü borç bilirim. Beş yılımın akıp geçtiği bu yuvada birlikte çalışmaktan gurur duyduğum bütün akademik ve idari personele, hemşirelere, tıbbi sekreterlere, ameliyat ekibimize ve diğer çalışanlara teşekkür ederim.

Kliniğimizin bilimselliğini ve huzurunu her şeyin üzerinde tutan, asistanların mesleki yetkinliği ve gelişimi için tüm imkanlarını kullanan, hekimlik sanatını geçmişten günümüze taşıyan anabilim dalı başkanımız Prof. Dr. Hayati Durmaz hocama teşekkürlerimi sunarım. Tez hocam olarak her türlü imkân ve akıl hocalığını esirgemediği için ayrıca teşekkürü borç bilirim.

Bizlerden önce hocalarımızı yetiştirmiş ve halen yetiştirmeye devam eden, öğretmenliği kendisine hayat gayesi olarak belirlemiş, asistanlık eğitimimiz boyunca akademik ve cerrahi yetkinliğimizi önemseyen ve tecrübelerini esirgemediği için Prof. Dr. Mehmet Aşık hocama teşekkür ederim.

Özellikli ortopedik cerrahiler açısından ufukumuzu açan ve bizi akademik yönde gelişmeye teşvik eden Prof. Dr. Cengiz Şen Hocama teşekkür ederim.

Asistanlık sürecim boyunca kliniğimizde görev yapan, kendi alanlarında Türkiye çapında söz sahibi olan, bilgi ve becerilerini bizlerden asla esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Halil İbrahim Balcı'ya, Prof. Dr. Fuat Bilgili 'ye, Prof. Dr. Turgut Akgül'e, Prof. Dr. Ali Erşen 'e; Doç. Dr. Ahmet Salduz 'a, Doç. Dr. Gökhan Polat'a ve Doç. Dr. Ömer Naci Ergin'e ayrı ayrı minnettar olduğumu söylemek isterim.

Asistanlığımın en heyecanlı dönemi olan tezimin hazırlanması aşamasında bana akıl hocalığı yapan, her aşamasında zaman ayırıp yardımcı olan, tezimin sonuçlandığını görmeye benim kadar mutlu olan değerli ağabeyim Doç. Dr. Yavuz Sağlam hocama teşekkür ederim.

Asistanlığım süresince birlikte çalışmaktan keyif aldığım, akademik ve pratik becerilerimde emeği büyük olan kliniğimizin yeni hocaları; Op. Dr. Serkan Bayram'a, Op. Dr. Murat Korkmaz'a, Op. Dr. Ömer Ayık'a, Op. Dr. Taha Kızılkurt'a, Op. Dr. Mehmet Demirel'e, Op. Dr. Alper Şükrü Kendirci'ye ayrı ayrı teşekkür ederim.

Beş yıllık süre boyunca çalışmaktan keyif aldığım arkadaşlarım Dr. Ahmet Müçteba Yıldırım, Dr. Taha Furkan Yağcı, Dr. İlhan Sulejmani, Dr. Yaşar Samet Gökçeoğlu başta olmak üzere tüm asistan arkadaşlarıma ve ağabeylerime candan teşekkür ederim.

Tez yazım sürecinde gece gündüz demeden en ufak sorumu bile yanıtız bırakmayan değerli kardeşim Op. Dr. Taha Furkan Yağcı'ya ayrıca bir daha teşekkür ederim.

Kalça ultrason taraması klinik korelasyonunda bana yardımcı olan değerli kardeşlerim Dr. Furkan Okatar, Dr. Metin Can Baysoy, Dr. Buğra Yoldaş'a teşekkür ederim.

Yazılımsal süreçte bana yardımcı olan Boğaziçi Üniversitesi Doktor Öğretim Üyesi Dr. H. Oktay Altun hocama ve Mevlüt Can Adıyaman' a teşekkür ederim.

Beni hayatla tanıştıran, benim iyi bir hekim olmamda en büyük katkıyı sağlayan, hayatımda tanıdığım ilk ve en iyi hekimler olan değerli babacığım Op. Dr. Gökhan Darılmaz ve değerli anneciğım Dr. Züleyhan Darılmaz' a bana bu mesleği sevdirdiği için teşekkür ederim. Değerli kardeşlerim Ahmet Mehdi ve Emine Deniz Darılmaz' a teşekkür ederim.

Bana annelik ve babalıklarını esirgemeyen, beni kendi öz evlatlarından yeri geldiğinde önde tutan çok değerli kayınpederim Sadık Çiğdem ve çok değerli kayınvalidem Nesrin Çiğdem' e teşekkür ederim.

Asistanlığım boyunca beni manevi olarak ayakta tutan, hayatımın şansız, çok sevgili eşim Dr. Feyza Nur Darılmaz' a; hayatıma neşe katan, bana babalığı tattıran biricik kızım Zeynep Efnan ve biricik oğlum Mehmet Selim' e teşekkür ederim.

Dr. Muhammed Furkan Darılmaz

Aralık-2023

İÇİNDEKİLER

BEYAN	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vii
TABLolar LİSTESİ	ix
KISALTMALAR LİSTESİ	x
ÖZET	xi
ABSTRACT	xiii
I.GİRİŞ VE AMAÇ	1
II.GENEL BİLGİLER	2
A.Tarihçe	2
B.Tanım.....	4
C.İnsidans	5
D.Etyoloji.....	6
1.Bağ Doku Gevşekliği.....	6
2.Prenatal Pozisyon.....	7
3.Postnatal (Doğum Sonrası) Pozisyonlama	8
E.Patofizyoloji.....	8
1.Normal Kalça Gelişimi	8
2.Displastik Kalçanın Gelişimi.....	9
3.Yenidoğan Dönemi ve Sonrası Doğal Seyir.....	11
F.Klinik Muayene	13
1.Yenidoğan (0-1ay).....	13
2.İnfant (1ay-1yaş)	15
3.Çocuk (Yürüme Çağı).....	17
G.Radyografik Bulgular	18
1.Ultrasonografi	18
2.Radyografi	28
3.Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)	30
H.Tarama.....	30
1..Türkiye Tarama Programı	31
III.YÖNTEM	34
A.Çalışma Dizaynı	34

B.Gereç ve Ortam	36
C.Ultrason Uygulaması	38
D.Standart Plan	39
E.Ölçüm Tekniği ve tiplendirme.....	43
F.Dokümantasyon	44
G.Video Analiz ve Standart Plan.....	45
H.Segmentasyon.....	47
J.Yazılımsal Süreç	48
K.Deneme	54
L.Değerlendirme	55
M.İstatistiksel Analiz	56
IV.BULGULAR	57
V.TARTIŞMA	63
VI.ÇIKARIMLAR	70
VII.KAYNAKLAR.....	71
VII.ÖZGEÇMİŞ.....	76

ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil-1: Makat prezantasyon GKD ilişkisi
- Şekil-2: Ortolani ve Barlow manevraları
- Şekil-3: Abdüksiyon kısıtlılığı muayenesi
- Şekil-4: Galeazzi bulgusu
- Şekil-5: Klisic testi
- Şekil-6: İnfant kalça ultrasonografisi için olası projeksiyonlar
- Şekil-7: Kalça ultrason standart düzlemi
- Şekil-8: Kalça ultrasonografisinin anatomik tanımlaması
- Şekil-9: Kemik köşe tanımlaması
- Şekil-10: Graf sınıfını belirlemek için alfa ve beta açısı ölçümü
- Şekil-11: Sonografi cetveli
- Şekil-12: Ultrasonografik değerlendirilmede kalça tiplendirmesi
- Şekil-13: GKD taramasında T.C. Sağlık bakanlığı akış şeması
- Şekil-14: Kalça ultrason muayene masası ve prob tutucu
- Şekil-15: A) Clarius L7 HD3 lineer prob B) Clarius bulut arşivi
- Şekil-16: Standart plan tanımlaması
- Şekil-17: Anterior, Orta, Posterior kesitsel düzlem
- Şekil-18: Kaudal eğim hatası örneği
- Şekil-19: Alfa ve beta açılarının ölçümü
- Şekil-20: Clarius bulut arşivinden bir hasta kaydı örneği.
- Şekil-21: Video biçimlendirme
- Şekil-22: Standart plan kare örneği
- Şekil-23: Segmentasyon örneği

Şekil-24: Segmentasyon geliştirme aşaması

Şekil 25: SSD *MobileNet* Model Mimarisi

Şekil 26: SSD algoritmasına beslenen veri seti dağılımı.

Şekil 27: Veri setinden bazı negatif örnekler

Şekil 28: Algoritma nesne tespit çıktısı

Şekil-29: Ön deneme sürecinde algoritmanın önerdiği çıktı

Şekil-30: Değerlendirmede yapılan hataların oranı

Şekil-31: Gözlemcilere göre doktorların ve yapay zekanın doğruluk oranları

Şekil-32: Gözlemci I'e göre doktorların ve yapay zekanın hata dağılımı

Şekil-33: Gözlemci II'e göre doktorların ve yapay zekanın hata dağılımı

Şekil-34: Gözlemcilere Göre Bakılan Görüntülerin Dağılımı

TABLolar LİSTESİ

Tablo-1: GKD fizik muayene bulguları

Tablo-2: GKD graf sınıflaması

Tablo-3: Cohen K analizi sonuç yorumu

Tablo-4: Gözlemci I ve Gözlemci II'nin Doğruluk ve Hata Değerlendirmeleri

Tablo-5: Gözlemcilere Göre Bakılan Görüntülerin Arasındaki Uyumun Değerlendirilmesi



KISALTMALAR LİSTESİ

GKD: Gelişimsel Kalça Displazisi

DKÇ: Doğumsal Kalça Çıkığı

AVN: Avasküler Nekroz

AP: Anterior-Posterior

MRG: Manyetik Rezonans Görüntüleme

USG: Ultrasonografi

AHBS: Aile Hekimi Bilgi Sistemi

CNN: Konvolusyonel Sinir Ağları (Evrışimli Sinir Ağı)

YZ: Yapay Zekâ

CAD: Bilgisayar Destekli Teşhis (*Computer Assisted Diagnosis*)

3DUS: Üç Boyutlu Ultrason

YOLO: *You Only Look Once*

SSD: Single Shot Multibox Detector

NMS: Non-Maximum Supression

ÖZET

Amaç: Gelişimsel kalça displazisinin (GKD) erken tanınması ve beraberinde tedavisinin de erken planlanması oluşabilecek birçok maddi ve manevi problemin önlenmesi açısından önem arz etmektedir. Bu nedenle tüm yenidoğan bebekler Türkiye ulusal tarama programı içerisinde yer alan akış planına göre yenidoğan döneminde kalça ultrasonu ile taranmaktadır. Yapılan ultrasonografik değerlendirmelerin standardizasyon eksikliği ve kişi bağılı bir tetkik olması araştırmanın çıkış noktası olup klinisyenlere değerlendirme aşamasında kolaylık sağlamak amacıyla bilgisayar yardımlı bir sistem (yapay zekâ) oluşturulması ve klinik değerlendirmenin yapılması amaçlanmıştır.

Yöntem: Kliniğimize 2023 yılı içerisinde tarama amacıyla yönlendirilen 110 bebekten alınan kalça ultrason görüntülemeleri depolandı. 2 saat 1 dakikalık video örneklerinden 552 adet standart plan tek kare etiketlemesi yapıldı ve eğitim ağı için bu görüntüler kullanıldı. Makine öğrenme tekniklerinden biri olan *Single Shot Multibox Detector (SSD)* sistemi yazılımın hızlı ve güvenilir olması için önceden eğitilmiş konvolüsyonel sinir ağı (MobileNet) ile entegre olarak kullanıldı. Eğitim süreci tamamlandıktan sonra klinik korelasyonunu test etmek amacıyla eğitim süreci dışında tutulan 10 bebekten elde edilen 10 adet 1'er dakikalık video hazırlandı. Bu videolar içerisinden 6 adet doktor değerlendirici (1 uzman ortopedist, 1 uzman radyolog, 4 ortopedi asistanı) ve yapay zekanın standart plan tespiti yapması istendi. Her bir değerlendirici için elde edilen 100'er adet görüntüden doğruluk ve hata değerlendirilmesi 2 adet uzman gözlemci ile yapıldı.

Bulgular: Çalışmaya katılan 6 adet doktorun (TFY, SM, FO, MCB, MŞ, BY) ve yapay zekanın (YZ); Gözlemci I ve II ye göre 100 kare üzerinden doğruluk oranları sırasıyla TFY 86/86, SM 86/86, FO 82/82, MCB 82/80, MŞ 65/65, BY 72/72, YZ 83/84 saptandı. Gözlemciler arası uyum tüm kareler beraber değerlendirildiğinde %96.2 (Cohen K=0.882) olarak tespit

edildi. Standart plan tespiti sırasında yapılan hatalar değerlendirildiğinde %10.1 oranında ilyak kanat dikliği, %8.8 oranında asetabular derin nokta tespiti, %0.7 oranında labrum tespitinde hata yapılmış olup YZ tarafından 3 adet karede artefakt hatası yapılmıştır.

Çıkarımlar: Kalça ultrason taramalarında derin öğrenme modelleri ile eğitilen algoritmalar kullanılarak klinik pratikte insan kullanıcılara benzer veya üstün doğruluk oranında standart plan tespitinin yapılabildiği gösterilmiştir. Çalışmanın klinik korelasyonunda ultrasonografik değerlendirmenin doğruluğunun eğitim yılıyla bağlantılı olduğu görüldü. Uzman radyolog ve uzman ortopedist kullanıcıya benzer oranda doğruluk ile sistemin çalıştığı gösterildi. Bu algoritmalar kullanılarak ultrasonografik değerlendirmeler standardizasyon eksikliğinden arındırılabilir ve deneyimsiz kullanıcılara doğruluk oranları artırılmış görüntüler ile klinik pratiklik sağlanabilir.

ABSTRACT

Objective: Early detection of developmental hip dysplasia (DDH) and the subsequent planning of treatment are crucial to prevent various problems. Therefore, all newborns in Turkey undergo hip ultrasound screening during the neonatal period according to the national screening program. The lack of standardization in ultrasound evaluations and the subjective nature of the examination prompted the creation of a computer-assisted system to facilitate the assessment stage for clinicians and to conduct clinical evaluations.

Method: Hip ultrasound images obtained from 110 infants referred for screening in our clinic in 2023 were stored. A total of 552 standard plane single-frame annotations were made from 2 hours and 1-minute video samples, and these images were used for training the neural network. The Single Shot Multibox Detector (SSD) system, a machine learning technique, was integrated with pre-trained convolutional neural networks (MobileNet) for the software to be fast and reliable. To test the clinical correlation after the training process, 10 videos of 1 minute each were prepared from 10 infants excluded from the training process. Six evaluating doctors (1 orthopedist, 1 radiologist, 4 orthopedic residents) and the artificial intelligence were asked to identify standard planes from these videos. Accuracy and error evaluation of 100 images for each evaluator were performed with the assistance of two expert observers.

Results: The accuracy rates over 100 frames for the 5 participating doctors (TFY, SM, FO, MCB, MŞ, BY) and artificial intelligence (AI) were found to be TFY 86/86, SM 86/86, FO 82/82, MCB 82/80, MŞ 65/65, BY 72/72, AI 83/84, respectively, according to Observers I and II. Inter-observer agreement for all frames evaluated together was determined as %96.2 (Cohen K=0.882). When errors during standard plane identification were evaluated, errors in the iliac wing were made in 10.1% of cases, errors in the detection of the lower limb in 8.8%

of cases, and errors in labrum detection in 0.7% of cases. Additionally, 3 artifact errors were made by AI.

Conclusion: Algorithms trained with deep learning models have been shown to achieve standard plan detection in hip ultrasound scans with similar or superior accuracy to human users in clinical practice. The study revealed a correlation between the accuracy of ultrasound evaluation and the years of training in clinical correlation. The proposed deep learning system was demonstrated to operate with accuracy comparable to expert radiologists and orthopedic specialists. These algorithms have the potential to assist users who do not frequently perform ultrasound assessments in achieving higher accuracy in clinical evaluations. By utilizing these algorithms, ultrasound assessments can be freed from the lack of standardization, and enhanced images can increase accuracy rates for inexperienced users, providing clinical practicality.

I.GİRİŞ VE AMAÇ

Yenidoğanlarda görülen fizyolojik kalça eklem gelişiminin yetersiz olduğu hastalık spektrumuna gelişimsel kalça displazisi (GKD) adı verilir. GKD spektrumu asetabular örtünme yetersizliğinden çıkık kalçaya kadar uzanan hastalıkların hepsini kapsamaktadır. Ortak etyoloji, kalça kapsülünün aşırı gevşek olması ve femur başının asetabulum içinde stabil kalamamasıdır.

GKD görülme sıklığı ırk, coğrafi bölge, bebek büyütme alışkanlıkları ve pek çok etkene göre değişiklik göstermektedir. Dünyada bu oran kalça instabilite ve çıkıklarının beraber olarak değerlendirildiği insidans çalışmalarında %0.1-3.4 arasında raporlanmıştır(1). Türkiye insidansı halen tam olarak bilinmese de %1-1.5 olarak tahmin edilmektedir(2,3).

Gelişimsel kalça displazisinin erken tanınması ve beraberinde tedavisinin de erken planlanması oluşabilecek birçok maddi ve manevi problemin önlenmesi açısından önem arz etmektedir. Tüm yenidoğan bebeklerde Türkiye ulusal tarama programı içerisinde yer alan akış planına göre yenidoğan döneminde ve doğum sonrası birinci ayında ilgili hekimler tarafından kalça eklem fizik muayenesi ve ardından kalça ultrason taraması erken tanı programı kapsamında yapılmaktadır.

Kalça ultrason taramasının Graf metoduna(4) göre standart plan üzerinden yapılması Ortopedi ve Travmatoloji hekimleri tarafından genel kabul gören bir yaklaşımdır. Pratik uygulama sırasında gerek radyolog gerekse de ortopedi hekimlerinin yaptığı ultrason görüntülemelerinde standart plan görüntünün elde edilemediği ve Graf metoduna uygun taramanın tam manası ile yapılamadığı gözlemlenmiştir.

Kalça ultrason görüntülemesi, her ultrason incelemesinde olduğu gibi oldukça kişiye bağlı bir muayene aracıdır. Bu sübjektiflik iki önemli sorunu da beraberinde getirir; bunlar hassas ölçümler sonucunda aşırı veya ölçümlerin yetersiz hassasiyette olması sonucu eksik tanı ve tedavi ile sonuçlanmasıdır.

Ülkemiz bazında bu sorunun oluşmasında ana neden ulusal taramanın kendi içerisinde evrenselleşmesi ile ultrasonografik değerlendirmenin olması gerekenden fazla ve metoduna uygun olarak yapılmamasıdır. Ultrasonografik değerlendirmenin standardizasyon eksikliği çalışmamızın çıkış noktasını oluşturmaktadır.

Kliniğimize başvuran yenidoğanlardan elde edilen kalça ultrason görüntülemeleri kullanılarak yapay zekâ destekli görüntü tanıma sistemi ile standardize sistem oluşturulması ve bu sistemin klinik korelasyonunun araştırılması bu çalışmada amaçlanmıştır.

II.GENEL BİLGİLER

A.Tarihçe

Tanısı konulmamış gelişimsel kalça displazisi (GKD), önceden bilinen adıyla doğumsal kalça çıkığı (DKÇ), erken yaşta artrit yaygın bir nedenidir. Erken tarihsel dönemde kalça çıkığı hakkında pek bir şey bilinmiyordu. Hipokrat zamanlarında kalça çıkığı görmezden gelinmiş, çünkü hastalık o dönem için topallıktan başka bir şey yapmıyor ve birçok çocuk daha ciddi ve hayati tehlike oluşturan durumlar nedeniyle kaybediliyor veya yaşamı kısılıyormuş. Bunun aksine, GKD çocuğun yaşamını tehdit etmiyor ve nadiren ağrıya neden oluyordu.

Tarihsel süreçte kalça displazinin tanı ve tedavisinde kilometre taşları(5):

- M.Ö. 300—Hipokrat tarafından rahim içinde çıkık bir kalça eklemının ilk defa kaydı saptanmış.
- 1564—Pare tarafından bir kadavra diseksiyon kesitinde sıg bir asetabulum ve gevşeyip uzamış bağların görüldüğü saptanmış.
- 1742—Andry tarafından aksak yürüyüş tanımlanmış ve bu çocukları tedavi etmek için bir korse-kemer kullanılmış.
- 1783—Milano'daki Ospedale Maggiore'de baş cerrah olan Giovanni Battista Palletta tarafından bir bebek otopsisinde keşfedilen doğumsal kalça çıkığının ilk anatomik tanımı yapılmış.
- 1826—Dupuytren yenidoğanda kalça çıkığını tanımlayarak modern batı literatüründe doğumsal kalça çıkığının dönemin en iyi tanımlamasını yapmış. Bu patolojinin etiolojisini düşünüp durumun ailevi eğilimine dikkat çekmiş. Uzun bir süre boyunca sabit bir pozisyonda olmanın kalçanın çıkmasına ve özellikle çocuğun gevşek bağlara sahip bir aileden gelmesi durumunda yeni bir asetabulum oluşturmalarına neden olabileceğini belirtmiş. Patolojiyi ayrıntılı bir şekilde tarif ettiği halde tedavi hakkında çok fazla bilgi verememiş. Tedavinin erken tartışmaları 19. yüzyılın sonlarına doğru Avrupa literatüründe yayımlanmaya başlamış.
- 1838—GKD Tedavisi ilk olarak Lyonlu Charles Gabriel Pravaz tarafından tanımlanmış. Devamlı traksiyon sistemi ile giderek derecesi artırılan abdüksiyon ve büyük trokanter üzerine belirli açılarda baskının birleştirildiği bir traksiyon yöntemi tanımlamış. Bu yöntem, birkaç vakalık kısa bir seride çıkık kalçanın redüksiyonunun gösterildiği ilk seri olarak tanımlanmış. Traksiyon yöntemiyle

tenotomilerin birleştirilmesi Paris'te Jules Guérin tarafından 1880'li yıllarda tanımlanmıştır.

- 1839—Gerrard Vrolik tarafından GKD patolojisi resmedilmiş.
- 1895—Trendelenburg tarafından kalça çıkığında etkilenmiş taraf ekstremitte üzerinde durulduğunda pelvisin düşmesi olarak ifade edilen abdüktör yetersizliği belirtisini tanımlanmıştır.
- 1896 —Almanya'da Roentgen tarafından geliştirilen direkt grafi sayesinde DKÇ anlayışı bir anda değişmiştir. Radyologlar, hızla DKÇ' nin doğasını ve şiddetini açıklamak için özel görüntüleme ipuçları geliştirmiştir. Bunlar arasında Hilgenreiner hattı, Perkin hattı ve birçok diğerleri bulunmaktadır.
- 1912—Le Damany, modern dönemde Fransa'da bir doğum servisindeki bebeklerin kalça çıkığı olup olmadığını belirlemek için hastane içi fizik muayene taramasının ilk kullanıcısı olmuştur. Le Damany, 1930'lu yıllarda Ortolani' nin geliştirdiği yöntemden de önce kalça muayeneleri yapmaya başlamış. Ancak muayene o dönemde yaygın olarak yapılmadığı için geç teşhis edilen vakaların sayısı yüksek kalmaya devam etmiştir.
- 1930-1937—Ortolani, İtalyan bir cerrah olup bebekleri muayene ederken, displazili kalçanın muayene ile asetabulum içine ve dışına hareket ettirilebileceğini gözlemlemiştir. Ardından çıkık kalçayı direkt grafi ile de göstermiştir. Çıkık kalçanın bir manevra ile asetabulum içine redüksiyonunu gösterdiği fizik muayene bulgusunu tanımlamıştır. Bu muayene bulgusu, 1937 yılında geniş çapta bilinir hale gelmiş olup daha önce Le Damany tarafından tanımlanan belirtiyel aslında aynı belirtidir.
- 1930—Adolph Lorenz, kalçanın kapalı redüksiyonu için döneminde “aşırı” olarak nitelendirilen teknikler tanımlamış ve bunları göstermiştir; ancak bu redüksiyonlar o kadar kuvvetliydi ki sonuçları nedeniyle sonraları "avasküler nekrozun babası" olarak adlandırılmıştır.
- 1946—Muhtemelen tedavi alanında en önemli ilerlemelerden biri Arnold Pavlik tarafından kendi adını da taşıyan askıyı tanıtmasıdır. Bu basit destek cihazı, çıkık kalçayı asetabular yuvaya geri yönlendirmek için aktif hareketliliğe izin veren bir mekanizma kullanmıştır. Pavlik' in çalışmaları, mevcut tedavi yöntemleri ile görülen avasküler nekroz (AVN) oranlarından dolayı döneminde ilk başlarda topluluk tarafından memnuniyetsizlikle karşılanmıştır. 1959'da yaptığı bir çalışmada, 1424 kalçanın yönetimini AVN oranındaki yüz güldürücü sonuçlar ile rapor etmiştir. Uzun

zamandır literatürde birçok yazar tarafından önerilen ve güncelliğini koruyan “altın standart” tedavi olarak kullanılmaya devam etmektedir.

- 1950—GKD tanısını ve tedavisini devrimleştiren bir başka önemli gelişme ise şüphesiz ultrasonun tıbbi kullanımı olmuştur. Sonar olarak üretilen teknoloji, denizaltılarını tespit etmek için savaş zamanında geliştirilip 1950'lerde tıbbi topluluğun kullanımına hızla sunulmuştur. Avusturyalı Graf ultrasonu GKD tanısında kullanmaya başlayan ilk kişilerden biri olmuştur. Konservatif tedaviyi etkili bir şekilde izlemeye ve displazili bir kalçanın matürasyonunu gözlemlemeye olanak tanımıştır.
- 1962—Thomas Barlow, kalça çıkığı şüphesi olan bir çocuğun kalçasının yuvada olduğunu ve çıkarılabilir olup olmadığını gösteren bir test tanımlamıştır. Kalçayı addüksiyona alıp arkaya doğru iterek yapılan muayenede; kalçanın yuvadan çıkarılabilir olup olmadığı gösterilir. Barlow kendi adını da taşıyan bu testi provakatif test olarak tanımlamıştır. Günümüzde yapılan muayenelerde Ortolani ve Barlow yöntemleri birleştirilerek kullanılmaktadır.

B.Tanım

Yenidoğanlarda görülen fizyolojik kalça eklem gelişiminin yetersiz olduğu hastalık spektrumuna gelişimsel kalça displazisi (GKD) adı verilir. GKD spektrumu asetabular örtünme yetersizliğinden çıkık kalçaya kadar uzanan hastalıkların hepsini kapsamaktadır. Ortak etyoloji, kalça kapsülünün aşırı gevşek olması ve femur başının asetabulum içinde stabil kalamamasıdır.

GKD, intrauterin dönem içerisinde kalçanın embriyolojik gelişimsel sürecinde tanımlanabilecek ve anlaşılabilir bir hastalıktır. Kalçayı oluşturan yapılar embriyonik dönemde normaldir ve bir dizi nedenle (fetal başın anormal pozisyonu, doğum anındaki prezantasyon gibi) yavaşça doğum sonrası dönemde anormal hale gelebilir. Kalça eklemi etrafındaki bağ dokusunun gevşekliği bunun başlıca nedenidir.

Eskiden kullanılan "doğuştan kalça çıkığı" terimi, 1980'lerde gelişimsel kalça displazi terimiyle değiştirilmiştir. Bu terim, doğumda normal olan ancak daha sonra kalça displazisi veya çıkığı gelişen bebekleri içerecek şekilde tanımlanmıştır(6). Amerikan Pediatri Akademisi, femoral başın asetabulumla anormal ilişkisi olduğu tüm durumları GKD olarak tanımlar.

GKD kısaltması, kalça çıkığı ve kalça displazisini göstermek için kullanılmış ve bu metinde her iki anlamda da kullanılmıştır. Çıkık, bir eklemi oluşturan kemik eklem yüzeyleri arasındaki ilişkinin tamamen ortadan kalkması durumu olarak tanımlanır. Subluksasyon ise

eklemede kısmi bir temasın devam ettiği durumu ifade eder. Kalça displazi ise asetabulumun kemiksel yapısının yetersiz gelişimini ifade eder.

Kalça instabilitesi bulunan bir yenidoğanda femur başı muayene ile kısmen (subluksasyon) veya tamamen asetabulumdan çıkabilir(dislokasyon). Kalça muayene sırasında çıkık pozisyonunda olabilir ve muayene ile redükte edilebilir. Displazik kalçada zamanla femoral baş disloke olur ve kalçanın pozisyonu muayeneyle değiştirilse bile redükte edilemez hale gelir. Bazı bebeklerde klinik muayene sonuçları negatif olabilir, ancak ultrasonografi ve radyografik çalışmalarla tespit edilen anormallikler ilerleyen dönemde kalça displazisinin habercisi olabilir.

C.İnsidans

Gelişimsel kalça displazisi (GKD) insidansını tam olarak tespit etmek zordur. Tanımındaki farklılıklar, kalça anormalliklerini tespit etmek için kullanılan muayene yöntemleri, muayene edenlerin farklı beceri düzeyleri ve incelenen popülasyonların farklılıkları bu zorluğun nedenlerinden sayılabilir. Yenidoğanda kalça instabilitesinin insidansı, 1000 doğumda 1'den başlayıp 100'de 3.4'e kadar yüksek bir aralıkta tespit edilmiştir. Türkiye insidansı halen tam olarak bilinmese de %1-1.5 olarak tahmin edilmektedir(2,3). Daha yüksek insidanslar, taramanın hem klinik muayene hem de ultrasonografiyi içerdiği durumlarda rapor edilmektedir(1). Kalçanın gerçek dislokasyon insidansına dair veriler daha tutarlıdır ve her 1000 canlı doğumda 1.0 ile 1.5 vaka arasında değişen raporlar bulunmaktadır.

GKD' de insidansı üç ana unsuru ayrı ayrı belirterek tanımlamak daha doğru olacaktır. Bunlar;

- 1- Çıkık → Her 1000 doğumda 1.4
- 2- Klinik Bulgu → Her 100 doğumda 2.3
- 3- Ultrason anomalisi → Her 100 doğumda 8

GKD insidansında coğrafi ve ırksal farklılıklar oldukça belirgindir; bazı dünya bölgelerinde yüksek endemik insidans görülürken, diğer bölgelerde bu durum neredeyse hiç görülmemektedir. Coğrafi temele dayalı olarak bildirilen insidans, İsveç'te(7) 1000 canlı doğumda 1.7'den, Yugoslavya'da 1000 canlı doğumda 75 ve Kanada'nın Manitoba bölgesinde belirli bir bölgede 1000 canlı doğumda 188.5'e kadar değişiklik göstermektedir. Bazı ırk gruplarının GKD insidansı düşüktür (örneğin, Afrika Bantu, Çinliler), diğer gruplar ise yüksek insidansa sahiptir (örneğin, Navajo Kızılderili çocukları)(8).

D.Etyoloji

GKD'nin tek bir nedeni olmasa da bir dizi yatkınlık faktörü belirlenmiştir.

Bu faktörler;

- 1- Bağ doku gevşekliği (genellikle kalıtsal)
- 2- Prenatal pozisyon (makat pozisyon)
- 3- Postnatal pozisyonlama (kalça ve dizlerin ekstansiyonda sarılması-kundak)
- 4- Irksal eğilim (belirli etnik gruplarda yüksek insidans)

1.Bağ Doku Gevşekliği

Bağ doku gevşekliği, GKD ile birkaç farklı nedenden dolayı ilişkilidir. Aslında, bağ doku gevşekliği irksal kalıtımla paralellik göstererek GKD için irksal insidansla da ilişkilendirilebilir. Yenidoğanın; annesinin relaxin hormonlarına verdiği yanıt, GKD'nin kızlar arasında daha yüksek bir insidansını açıklayabilir. Bu hormonlar, annenin pelvisinin genişlemesi için gerekli olan bağ doku gevşekliğini oluşturan hormonlardır, plasentayı geçer ve bebekte bağ doku gevşekliğini oluşturur. Bu etki, kız çocuklarda erkek çocuklara göre çok daha güçlüdür.

1970 yılında, GKD'nin genetik bir çalışması sırasında, Wynne-Davies(9), kalıtsal bağ doku gevşekliğini GKD'nin mirasının ana mekanizması olarak tanımlamıştır. Bu durumun, otozomal baskın bir karakteristik olduğuna inanıyordu. GKD riskinin tek yumurta ikizlerde (%34) çift yumurta ikizlere (%3) göre daha yüksek oranda görülmesi de genetik etkiyi desteklemektedir.

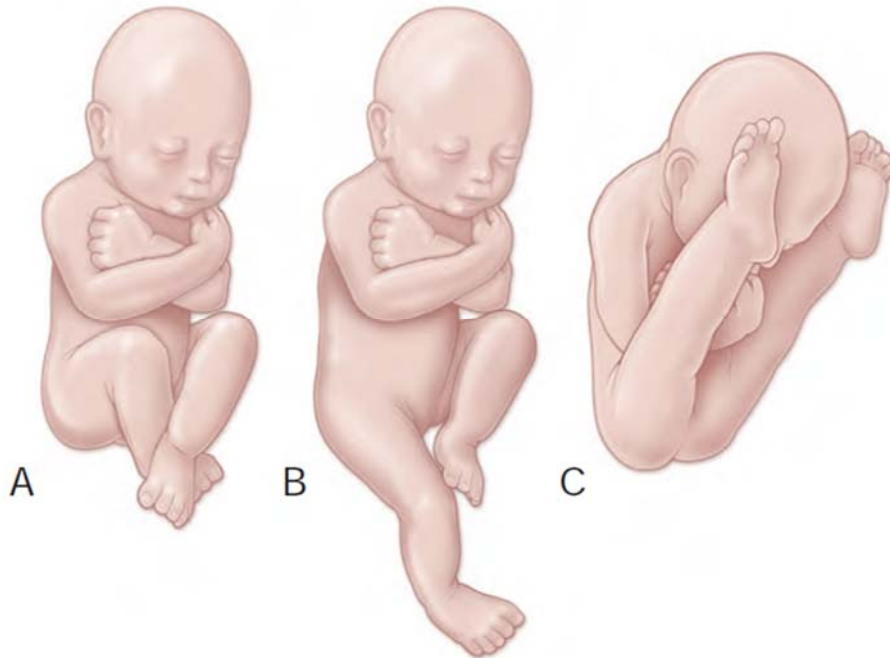
GKD'li yenidoğanların, kontrol grubu örnekleriyle karşılaştırıldığı çalışmalarda kolajen tip-3/tip-1 oranının daha yüksek olduğu bulunmuş olup GKD'li bebeklerde bağ doku anormalliğini düşündürmektedir. Simfizis pubis üzerine yapılan bir gevşeklik çalışmasında; GKD'li bebekler ve kontrol grubu arasındaki simfizis pubis distraksiyon derecesinin GKD'li bebeklerde 2 kat daha fazla olduğu görülmüştür(10).

Köpeklerde yapılan bir çalışmada kalça kapsülü ve ligamentum teres rezeksiyonu sonrasında çıkık gelişiminin arttığı gözlenmiştir. Devamında yapılan deneyde kapsül rezeksiyonun sadece gerilip tekrar kapatılsa da çıkıkların arttığı raporlanmıştır. Alternatif olarak, asetabular kırıkta çatının rezeksiyonu sadece normalden daha sığ bir asetabulumla sonuçlanmış ancak kalça çıkığına yol açmadığı gözlenmiştir(11).

Erkek ve dişi yeni doğmuş tavşanların kullanıldığı bir çalışmada, tüm tavşanların kalça ve dizleri ekstansiyonda (kundak pozisyonunda) atellenmesine rağmen sadece dişi tavşanlarda çıkıkların arttığı görülmüştür. Tavşanlarda yapılan bu gözlem hormonal indüklenmiş bağ gevşekliğini desteklemektedir(12).

2.Prenatal Pozisyon

İnfantların sadece %2-3'ü makat prezantasyonda doğsa da GKD'li bebeklerin %16'sında makat prezantasyon gözlenir. Rahim içinde belirli makat pozisyonlarında olan yenidoğanlarda GKD riskinin önemli ölçüde daha yüksek olduğu gösterilmiştir(13). Makat prezantasyonun GKD oluşumuna etkisi, dizler ekstansiyondayken en belirgin hale gelir ve bu prezantasyonda doğan bebeklerde %20 insidansda GKD gözlemlenmiştir(14). Alternatif olarak, kalça ve beraberinde dizlerin de fleksiyon halinde olduğu makat pozisyonu, yalnızca %2'lik GKD insidansı ile ilişkilidir (Şekil-1). Lowry ve meslektaşları, bebeklerin preterm olarak sezaryen ile doğurtulduğu durumlarda (%3.7) vajinal doğumla doğurtulara (%8.1) göre GKD insidansında önemli bir azalma olduğunu göstermiştir. Bu da makat prezantasyonda daha uzun süre intrauterin zaman geçiren bebeklerde GKD insidansının arttığını doğrulamaktadır(15).



Şekil-1: Makat geliş pozisyonları. A, Çift makat geliş pozisyonu, GKD'nin düşük insidansı ile ilişkilidir. B, Tek ayak makat geliş (GKD birlikteliği %2). C, Saf makat geliş pozisyonu (GKD birlikteliği %20). (*Tachdjian's Pediatric Orthopaedics 5th Edition, 2014, chapter 16* 'dan alınmıştır.)

Kalça gelişimi, intrauterin pozisyonundan etkilenir ve makat prezantasyonda olan bebeklerde sezaryen ile doğum kalça dislokasyonu insidansını azaltmaz(16). GKD insidansı aynı zamanda ilk doğan çocuklarda ve oligohidramnios ile komplike olan gebeliklerde daha yüksek saptanmıştır. Gelişmekte olan kalçada rahim içi sıkışma nedeniyle GKD insidansının arttığı düşünülmektedir. Bu argüman, GKD'li çocuklarda diğer postüral anormalliklerin (örneğin, tortikolis, metatarsus adduktus) artmış insidansı ile desteklenmektedir. Ayrıca, sol kalça sağ kalçadan daha sık etkilenir. Çünkü en yaygın rahim içi pozisyon, sol kalçanın maternal sakruma karşı addükte olduğu pozisyonudur, bazı yazarlar bu pozisyonun sol kalçayı sağ kalçaya göre daha fazla dislokasyon riskine soktuğunu düşünmektedir(16).

3.Postnatal (Doğum Sonrası) Pozisyonlama

Doğum sonrası pozisyonlama, GKD ile ilişkilendirilen başka bir faktördür. Yenidoğan bebekleri kalçalar ve dizlerin ekstansiyona alındığı pozisyonda saran toplumlarla (örneğin, bebek taşıma tahtalarını kullanan Kızılderililer)(8), diğer toplumlar karşılaştırıldığında GKD'nin çok daha yüksek bir insidansı bu toplumlarda görülmüştür. Öte yandan, bebeklerini genellikle kalçaları örtülmeden taşıyan veya kurbağa gibi saran gruplarda düşük GKD insidansı görülmüştür.

Asetabular gelişimin yetersizliği, GKD'nin ana nedeni olarak görülmüştür. Erken kadavra çalışmaları, asetabulumun doğumda daha sığ olduğunu ve fizyolojik gelişiminin 3 yaşına kadar devam ettiğini gözlemlemiştir(17). Kalça gelişimi sırasında 3 yaşına kadar meydana gelebilecek fiziksel etkiler fizyolojik gelişimi sekteye uğratıp GKD nedeni olabilir.

E.Patofizyoloji

1.Normal Kalça Gelişimi

Kalça eklemi, gebeliğin yaklaşık yedinci haftasında, primitif eklem tomurcuğunun mezenkiminde bir yarık belirlediğinde gelişmeye başlar. Bu ön-kartilaj hücreleri, gebeliğin on birinci haftasında tamamen kırkırdaktan oluşmuş femur başı ve asetabulum haline gelir(18). Asetabulumun konkav şekli, asetabulum içindeki yapının (femur başı) belirlediği bir yapıdır. Eğer kalçanın embriyonik gelişiminde bu aşamada bir eksiklik olursa majör anomaliler (örneğin Proksimal Femoral Yetmezlik) ortaya çıkabilir.

Doğumda, neonatal asetabulum tamamen kıkırdaktan oluşur ve kenarı labrum adı verilen ince bir fibrokartilajla kaplıdır. Asetabulumun hiyalin kıkırdağı, üç pelvik kemik bileşenini (yani, ilium, iskium ve pubis) birbirine bağlayan üçgen şeklindeki Y kıkırdakla süreğenlik gösterir. Bu üç pelvik kemiğin temas eden asetabular kıkırdak yüzeyi, bir yarı küre şeklini oluşturur. Bu yarı kürenin epifizyal kıkırdağı büyüme plağı (fizis) olarak görev yapar ve asetabular gelişim için önemlidir. Labrum asetabular derinliğin artmasına önemli katkıda bulunur; bu nedenle GKD tedavisi sırasında labrumun rezeksiyonu önerilmez. Asetabular şeklin çoğunluğu yaklaşık olarak 8 yaşında tamamlanır. Ergenlik dönemindeki geç asetabular gelişim, os asetabulum gibi ikincil asetabular merkezlerin büyümesiyle artış gösterir(19).

Proksimal femurun karmaşık bir büyüme modeli vardır. Yenidoğanda proksimal femur; femur başı, büyük trokanter ve küçük trokanteri içeren tamamı büyük bir kıkırdaktan oluşan yapıdır. Femurun proksimal segmentinin gelişimi, üst femur eklem yüzeyindeki apozisyonel büyüme ile kıkırdak yapıdaki proksimal femur ve femoral shaftın birleşim noktasındaki epifizyal büyüme kombinasyonu ile gerçekleşir. Normal femurda, femoral başın merkezinde doğum sonrası hayatın dördüncü ve yedinci ayları arasında bir ossifikasyon merkezi belirir. Bu merkez, ergenliğin sonunda fizis kapanana kadar büyür ve yetişkin femoral baş haline gelip ince bir eklem kıkırdağı ile kaplanır. Büyüme dönemi boyunca, bu kemik çekirdeği etrafındaki kıkırdak kalınlığı ve asetabular kıkırdak kalınlığı görece azalır ve erişkin halini alır.

2.Displastik Kalçanın Gelişimi

GKD, embriyonik dönemde normal gelişen anatomik yapıların doğum sonrası malformasyonu ile ilişkilendirilen ve geri dönüşümlü olduğu düşünülen bir bozukluktur. Muhtemelen sürekli olarak uygulanan nispeten hafif kuvvetler, böyle deformasyonların nedenidir. Kalıtsal olarak bağ doku gevşekliği bulunan bir kalça doğum sonrasında asetabulum içine ve dışına kendiliğinden kayabilmektedir. Bunun gerçekleşebilmesi için asetabulumun postero-superior kenarı keskin kenarını kaybetmeli ve femoral başın kaydığı bölge üzerinde düzleşmeli ve kalınlaşmalıdır. Başın asetabulumun kenarındaki bu kayma hareketi nedeniyle kalınlaşmış eklem kıkırdağı bir çıkıntı oluşturmaya başlar. Bu yapı, Ortolani tarafından neolimbus olarak adlandırılır. Baş asetabulumdan çıkarken ve redükte olurken neolimbus üzerinden bir "tıkırtı" hissi vererek atlar.

Doğumda instabil olan bazı kalçalar, kendiliğinden düzelir ve yukarıda bahsedilen anatomik değişikliklerin tamamen kendiliğinden çözülmesi ile normal kalça yapısına dönüş yaşanır. Gelişim geriliği devam eden kalçalar nihayetinde asetabular soket dışında kalır ve birçok ikincil anatomik değişiklik yavaşça meydana gelmeye başlar. Kendiliğinden düzelme sıklığı, ilerleyici çıkma ile karşılaştırıldığında oran tam olarak bilinmemekle beraber düzelme lehine olarak düşünülmektedir.

Çıkık kalçalarda, redüksiyona karşı ikincil engeller gelişmeye başlar. Asetabulumun derinliklerinde, pulvinar olarak adlandırılan yağ dokusu kalınlaşır ve redüksiyonu engelleyebilir. Ligamentum teres uzar ve kalınlaşır. Uzamış olan ligamentum teres asetabulum içinde redüksiyonu engelleyecek kadar yer kaplayabilir. Transvers asetabular ligament de genellikle hipertroftiktir ve redüksiyonu engelleyebilir. Dahası, kalçanın alt kapsülü bir kum saati şeklini alır ve sonunda femoral baştan daha küçük bir çapta bir açıklık sunar. İliopsoas tendonu, istmus boyunca bu alana baskı uygulayarak daralmanın derecesini artırır. Asetabulumda yaşanan bu değişikliklere rağmen femurdaki değişiklikler minimaldir. Bu değişiklikler; anteversiyonun artması ve ilioma bakan femoral başın medial yüzünün hafif düzleşmesini içerir.

Labrum asetabular kıkırdak çevresinde ince bir fibröz kıkırdak olup asetabular derinliği artıran fizyolojik bir yapıdır. Daralmış kalça kapsülüne rağmen redüksiyon girişiminde bulunduğu anda, femoral baş kıkırdaklı asetabular dudak ve labrum ile temas eder ve daralmış kalça kapsülünün de etkisiyle bu köşeyi asetabulumun içine zorlar. Kalça kapsülü ve redüksiyona engel yapılar gevşetilmeden baş asetabular kenarın alt seviyesine indirilemez. Redüksiyon amacıyla kıkırdak köşe veya labrum rezeke edilmemelidir.

Femoral baş redüksiyonundan sonra, asetabular kenar hala femoral başın derin bir şekilde oturmasını engelleyebilir çünkü kenar normalden daha kalın hale gelmiştir. Baş asetabulum içinde durdukça bu kalınlaşmış kıkırdak yavaşça düzleşir ve başın derinlemesine oturmasına izin verir. Klinikte "başı yanaştırma" olarak bilinen bu fenomen 1941 yılında Severin tarafından tanımlanmıştır. Femoral baş ve asetabulumun lateral duvarı temasının devam etmesi sonucu düzleşmiş femoral baş küresel bir şekle dönüşür ve redüksiyon anında uyumsuz olan kalça eklemi redüksiyon sürdükçe uyumlu hale gelir. Stabil bir redüksiyon elde edildiğinde, asetabulum da yavaşça yeniden şekillenir. Bu yeniden şekillenme, asetabulumun derinliğini artırır ve asetabular açısı yavaşça daha yatay hale gelir. Asetabulumun yeniden şekillenme dönemi sırasında sıklıkla ikincil ossifikasyon merkezleri erkenden görünür hale gelir.

Eğer kalça çıkık olarak kalmaya devam ederse asetabulumun büyüme ve gelişimi sırasında ek değişiklikler meydana gelir. Asetabular çatı giderek daha eğik hale gelir, asetabulum yavaşça düzleşir ve nihayet konveks (dış bükey) bir yüzey sunar, ayrıca asetabulumun medial (iç) duvarı kalınlaşır. Bu değişiklikler bir noktaya kadar tersine çevrilebilir, ancak kalçanın redüksiyonu sonrası normal asetabular gelişime yol açacağı kesin üst yaş belirsizdir. Harris yaptığı çalışmalarda, yerine oturtulan bir kalçanın tatmin edici asetabular gelişim elde edebileceği üst yaşı 4 yaş olarak bildirmiştir(20).

Tedavi edilmemiş bazı kalçalarda femoral baş asetabulumla bir miktar teması korur. Sublukse (yarı çıkık) olan bu kalçalarda; femoral baş, genişlemiş ve eğik bir asetabular yüzey üzerinde proksimale-distale kayabildiği stabil olmayan bir temas alanına sahiptir. Bu instabilite, genellikle geç ergenlik döneminde fark edilmeye başlayan dejeneratif değişikliklere yol açar ve genellikle birkaç yıl içinde ciddi dejenerasyona hızla ilerler. Geç radyografik değişiklikler arasında asetabulum ve femoral başta subkondral sertleşme, subkondral kist oluşumu, asetabular osteofit oluşumu ve eklem kıkırdak kaybı bulunur. Asetabulumun yeniden yönlendirilmesi (kalça eklem koruyucu cerrahiler) ile femoral başın yük alma yüzeyinin değiştirilmesi ciddi dejenerasyon oluşmadan önce gerçekleştirilirse dejeneratif değişiklikler önlenebilir veya hafifletilebilir.

Yetişkinlerde çıkık femoral baş, genellikle belirgin şekilde kalınlaşmış bir kalça kapsülüyle asetabular kenarın oldukça üzerinde yer alır; buna yüksekte kalça çıkığı denir. Yetişkinlerde çıkık femoral baş oval ve medial yüzeyinde düzleşmiş olarak saptanır. Asetabulum fibröz doku, hipertrofik ligamentum teres ve kalınlaşmış transvers asetabular ligament ile doludur ve eklem kıkırdağı ya atrofiktir ya da yer yer eksiktir. Femur proksimaline yapışan kaslar kısalır ve daha yatay bir konumda hizalanmış olarak saptanırlar. Çıkık yetişkin kalçaları uzun yıllar boyunca dejenerasyondan korunmuş bir şekilde kalabilirler.

3.Yenidoğan Dönemi ve Sonrası Doğal Seyir

İnstabil bir kalçanın ne sıklıkta kendiliğinden düzeldiği veya GKD spektrumuna (displaziden çıkığa) girdiği hala tartışmalı bir konudur. Temel sorun, instabil bir kalçanın tanımıdır. Geleneksel olarak, instabilite Ortolani veya Barlow testinde pozitif sonuçla tanımlanmıştır. Ancak, bu sınıflandırma, klinik olarak stabil ancak ultrasonografik olarak anormal özelliklere sahip kalçaların dahil edilmesiyle karmaşık hale gelmiştir. Bu nedenle, bir araştırmacının anormal kalçaları tanımlamak için kullandığı kriterler, kalça instabilitesini değerlendiren herhangi bir çalışma incelenirken dikkate alınmalıdır. Barlow, incelediği 60

instabilite belirtisi olan kalçalarla yaptığı çalışmada %60'ının tedavi olmadan 1 hafta içinde, %88'isinin de 2 ay içinde kendiliğinden düzeldiğini göstermiştir. Coleman'ın Navajo çocuklarındaki doğal izlem çalışmasında, 23 Ortolani pozitif kalçadan 5'inin kendiliğinden düzeldiği ve geri kalanının displastik, subluksasyon veya çıkık olarak kaldığı gözlemlenmiştir. Yamamuro, tedavi edilmemiş instabilite gösteren 52 bebeği izlemiş ve 12 Ortolani pozitif kalçadan 3'ü, 42 sublukse kalçanın 24'ü spontan düzeldiğini göstermiştir(21).

Radyolojik kalça displazi terimi; Shenton hattının korunmuş olduğu asetabulumun artmış eğimini ve iç bükeylik kaybını ifade eder. Subluksasyon terimi, femoral başın asetabulum ile tam temas halinde olmadığı durumlar için kullanılır. Subluksasyonun radyografik bulguları, genişlemiş göz yaşı figür-femoral baş mesafesi, azalmış merkez-kenar açısı ve Shenton hattının devamlılığının bozulmasını içerir. Çıkık terimi, femoral başın asetabulum ile temas halinde olmadığını belirtir. Hem subluksasyon hem de çıkık kalçalar displastik değişikliklere sahiptir. Radyolojik belirtilerin ayrıntılarına "Radyografi" bölümünde değinilmiştir.

Displazi, asetabulum üzerindeki anormal kuvvetlerin doğrudan bir sonucudur. Femoral başın lateralizasyonu, daha küçük birim alanda artan kuvvetlere ve kesme vektörünün artmasına neden olur. Artan kesme vektörleri asetabulumun büyüme kıkırdağını etkiler. Asetabulumun eğim açısı 15 dereceden fazla olduğunda, kesme ve lateralizasyon kuvvetleri medializasyon kuvvetlerini aşar ve ilerleyen subluksasyon kaçınılmaz hale gelir. Sinovyal bağlantı noktalarında çatı osteofitleri oluşur. Bunlar, fibrokartilajın asetabular kenardaki temas yüzeyini artıran yalancı asetabulumu oluşturarak hastalığı ilerletir. Eklem temas alanı kıkırdak stresini belirler. Stres, temas alanının boyutunun azalmasıyla 20'den 320 kPa/cm²'ye kadar yükselebilir.

Sublukse olmayan displastik kalçalar genellikle zaman içinde ağırlı hale gelir ve dejeneratif değişiklikler geliştirir. Cooperman ve arkadaşları, 20 dereceden az lateral merkez-kenar açısına sahip sublukse olmayan displastik kalçaların, 22 yıllık takip süresi boyunca osteoartritik değişiklikler yaşadığını bildirmişlerdir(22). Ancak, merkez-kenar açısı ile artrit gelişimi arasındaki doğrudan bir ilişki gösterilmemiştir. Redüksiyondan sonraki 2 yıl içinde asetabular açısı 35 dereceden fazla olan bir kalçanın, muhtemelen daha sonra kalça protezi gerektirecek tip III veya IV kalçaya dönüşme olasılığı %80'dir(23). Tahminlere göre kalçanın dejeneratif artriti vakalarının %20 ila %50'si subluksasyon veya artmış asetabular displazi sonucudur.

Çıkık bir kalça, sublukse bir kalçaya göre çok daha sonra semptomlara neden olur; bazı bireylerde bu kalçalar hiç ağırlı olmaz. Bir çalışmada, iyi gelişmiş sahte asetabulumlu kalçaların

ağrı ve engellilik insidansının en yüksek olduğu saptanmıştır(24). Merkez-kenar açısı, asetabular açı ve osteoartrit arasında katı bir doğrusal ilişki bulunmamıştır. Tedavi edilmemiş GKD'li hastaların yaklaşık yarısında kalça, diz ve sırt ağrısı bildirilmiştir. Diğer çalışmalar, ömür boyu kalça çıkığına rağmen semptomların olmadığı veya az semptomların olduğu vakaların üzerinde durmuştur. Tedavi edilmemiş çıkık kalçalara sahip kişilerde diğer dejeneratif ve fonksiyonel sorunlar gelişebilir. Tek taraflı çıkıklar, ekstremitte uzunluk farkı, ipsilateral valgus diz deformitesi, anormal bir yürüyüş, azalmış çeviklik ve postüral skolyozu içeren sorunlara yol açar. İki taraflı vakalar, artmış lomber lordozun bir sonucu olarak bel ağrısı ile ilişkilendirilir.

F.Klinik Muayene

1.Yenidoğan (0-1ay)

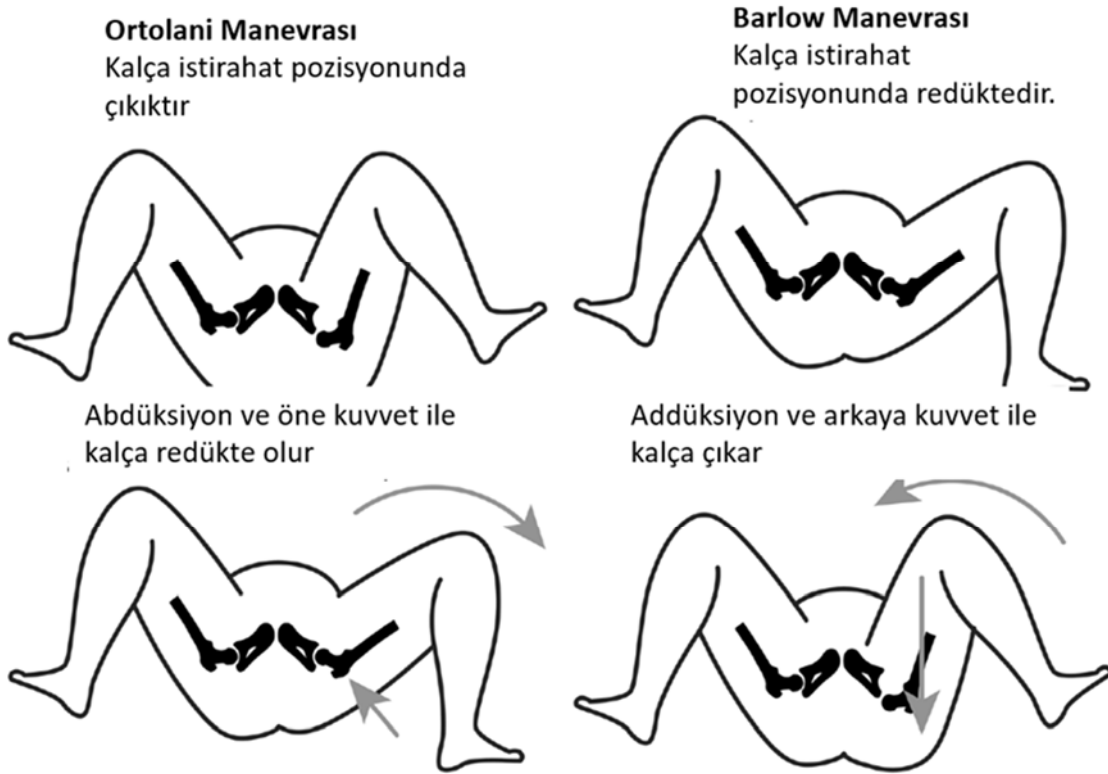
GKD, Ortolani veya Barlow belirtisi veya kalçanın ultrasonografik morfolojisinde görülen önemli değişikliklerden teşhis edilir. İnstabil kalça, birkaç ay içinde kendiliğinden stabilize olabilir, displastik veya çıkık hale gelebilir.

Yenidoğanın kalça muayenesi, deneyimli bir klinisyen tarafından yapılmalıdır. İdeal bir muayene için çocuğun rahat olması gerekir. Bunu elde etmek için muayene yüzeyi sıcak ve rahat olmalı, oda makul derecede ve sessiz olmalıdır. Muayene sırasında bebeğin hareketini minimale indirmek için biberon yardımıyla bebek beslenmesi de faydalı olabilir. Sıkı bir muayene yüzeyi en iyisi olsa da ebeveynin kucağı çocuğu daha rahat hissettiriyorsa o da tercih edilebilir. Bu muayenede klinisyenin hissi çok önemlidir. Kalçanın çıkıp girmesi çok ince bir olaydır ve çok hafif bir dokunuşla daha iyi anlaşılır.

Barlow testinde, femoral baş asetabulumdan disloke edilmeye çalışılır veya sublüksasyon hissi alınmaya çalışılır. Kalça addükte edilir ve kalçayı arkaya kaydırmak için dizlerden hafif bir itme uygulanır. Muayene edenin parmakları büyük trokanterin üzerine yerleştirilir ve trokanterin yanıtı hissedilir. Pozitif bir testte, kalçanın asetabulumdan çıktığı hissedilir. Muayene sırasında itme kuvveti azaltıldığında, kalçanın asetabulumun içine tekrar yönlendiği hissedilir (Şekil-2).

Ortolani testi, Barlow testinin tersidir: Muayenede çıkık bir kalçanın redüksiyonu amaçlanmaktadır. Muayene eden, çocuğun uyluğunu başparmak ve işaret parmağıyla tutar ve dördüncü ve beşinci parmaklarıyla büyük trokanteri anteriora kaldırırken aynı anda kalçayı abduksiyona alır. Test sonucu pozitif olduğunda, femoral başın, hissedilebilen ancak

duyulamayan narin bir "tık" ile sokete tekrar yöneldiği hissedilir (Şekil-2). Muayene bulgularının kesin olup olmadığını doğrulamak için bu sıralama dört veya beş kez tekrarlanmalı ve muayene sırasında Barlow testi ve Ortolani testi narin bir hareket ile sırayla kullanılmalıdır. Diğer kalça aynı şekilde muayene edilir ve karşılaştırma yapılır. Aceleci bir muayeneci, instabiliteyi genellikle anlamaz. Bu his oldukça narindir. Muayene edenin ve bebeğin uygun derecede rahatlaması ancak bu hissi mümkün kılar. Yenidoğan döneminde genellikle başka anormal belirtiler yoktur.



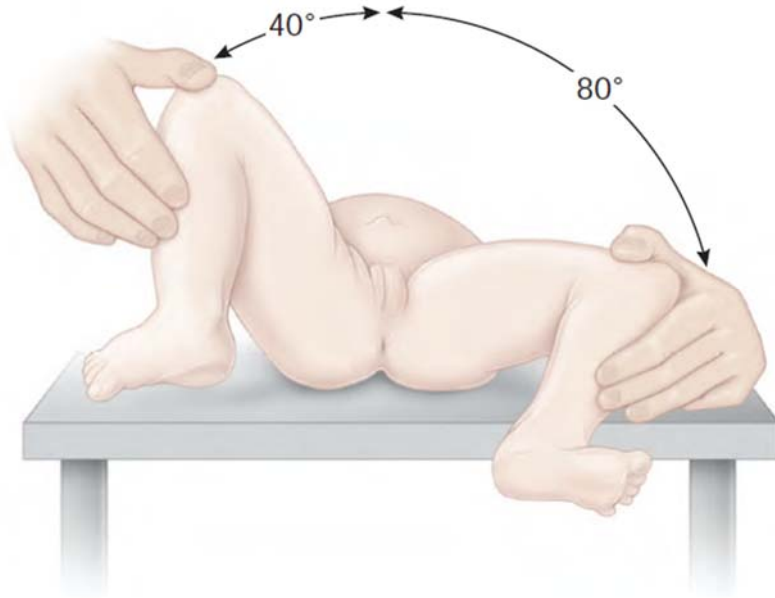
Şekil-2: Ortolani ve Barlow manevraları

Başlangıç değerlendirmesinden sonra çocuklar için uygun takip planlamak önemlidir. Nadiren, yenidoğan döneminde klinik muayene sonuçları negatif olan hastalar daha ileri yaşlarda displazi ile başvurabilirler. Risk faktörlerini içeren çocuklarda, bebekler için ultrasonografi ve 6 aydan büyük çocuklar için pelvik radyografi gibi görüntüleme çalışmaları yapılmalıdır.

2.İnfant (1ay-1yaş)

Çocuk ikinci ve üçüncü aylara girdiğinde, GKD'nin diğer belirtileri ortaya çıkmaya başlar. Yenidoğan döneminden gelen instabiliteden çıkığa geçişin kademeli bir süreç olduğunu hatırlamak önemlidir. Bazı çocuklarda birkaç hafta içinde redükte edilemeyen bir çıkık gelişirken, diğerlerinde kalça çıkığı 5 veya 6 aylık olana kadar redükte edilebilir kalır. Kalça artık redükte edilemeyecek hale geldiğinde belirgin fiziksel bulgular ortaya çıkar. Bunlar; abdüksiyon kısıtlılığı, uyluk kısalması (galeazzi belirtisi), büyük trokanterin proksimalize konumu (klisic belirtisi), kasık-uyluk kıvrımlarının (pili) asimetrisi ve kalçanın piston hareketini içerir.

Abdüksiyonun kısıtlılığı, çıkık bir kalçanın en güvenilir belirtisi olup, çocuk sert bir yüzeyde iken her iki kalçayı beraber abdüksiyona getirilerek en iyi şekilde anlaşılır. Tek taraflı çıkık, etkilenen taraf normal tarafla kıyaslandığında abdüksiyon derecesinde azalma ile belirtilir (Şekil-3). Uyluk kısalması (Galeazzi belirtisi), her iki kalçayı 90 derece fleksiyona getirip dizlerin yüksekliğini karşılaştırarak en iyi şekilde anlaşılır, iki uyluğun uzunluğu arasında asimetri aranır (Şekil-4). Uyluk kısa olduğundan, etkilenen tarafta normal taraftan daha fazla uyluk cilt katlantısı (pili) olacaktır. Bu belirtiler her zaman tek taraflı bir çıkıkla birlikte değildir, ancak fazladan uyluk kıvrımları yaygın normal bir varyanttır ve zorunlu olarak kalça çıkığına işaret etmez.



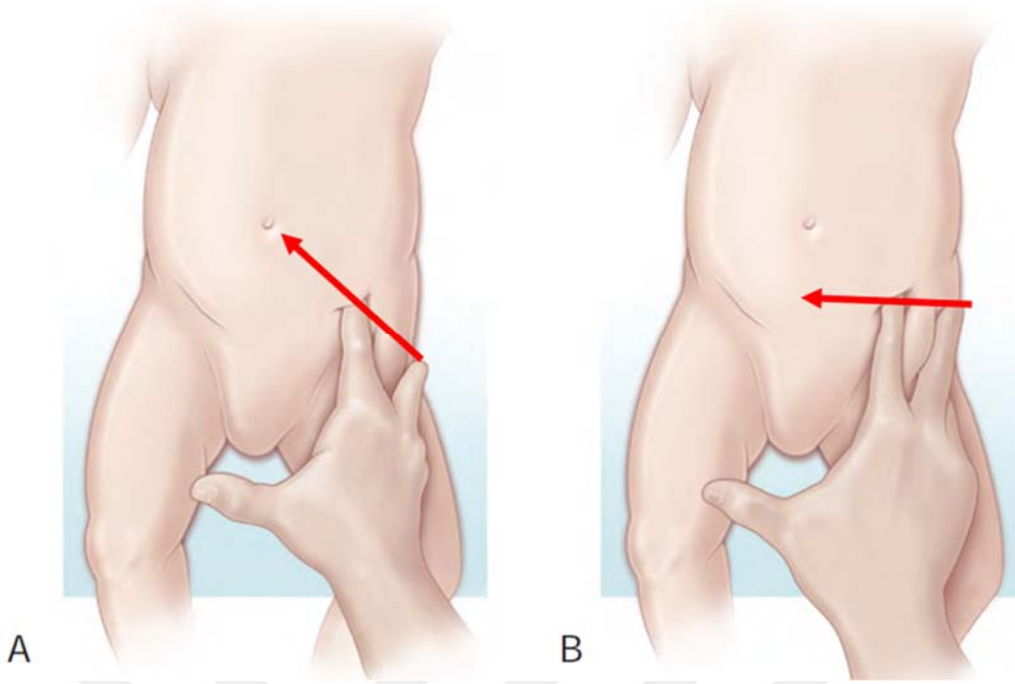
Şekil-3: Sağ kalçada gelişimsel displazisi. Fizik muayenede etkilenen kalçada kısıtlanmış abdüksiyon gözlenmektedir. (*Tachdjian's Pediatric Orthopaedics 5th Edition, 2014, chapter 16* 'dan alınmıştır.)



Şekil-4: Galeazzi bulgusu. Kalça ve dizler uygun fleksiyonda tutulurken belirginleşen uyluktaki kısalma. (Çıkık tarafta-sağ- kısalma gözlenmektedir.) (*Tachdjian's Pediatric Orthopaedics 5th Edition, 2014, chapter 16* 'dan alınmıştır.)

Dikkatsiz muayene eden için en tehlikeli durum, her iki kalça çıkığına sahip olan çocuktur. Bu çocuğun pili asimetrileri yoktur ve fleksiyondaki dizler aynı seviyededir. Kombine abdüksiyon kısıtlıdır, ancak bu kısıtlılık simetrik olduğundan tespit etmek zor olabilir. Muayeneyi yapanın bilateral bir çıkığı tanımasına yardımcı olabilen testlerden biri, muayene edenin üçüncü parmağını büyük trokanterin üzerine ve işaret parmağını anterior süperior iliak çıkıntıya yerleştirdiği Klisic testidir. Hayali bir çizgi 2. ve 3. parmaklar arasında çekildiği zaman normal kalça gelişimi olan bir bebekte göbek deliğini işaret etmelidir. Kalça çıkıksa, büyük trokanter daha proksimalde yer alacağı için bu hayali çizgi göbek deliğinden daha aşağı pubise yakın bir yeri gösterir (Şekil-5).

Klinisyenler; şüpheli bulgular veya risk faktörleri mevcutsa mutlaka ek görüntüleme tetkiklerinden faydalanmalıdır. Bu risk faktörleri, GKD aile öyküsü, makat geliş, oligohidramnios, tortikollis ve metatarsus adduktusu içerir. GKD'nin erkek çocuklara kıyasla kız çocuklarında çok daha yüksek sıklığı da göz önüne alınmalıdır. Birkaç ay sonra bir çocuğun yeniden muayene edilmesi, bir çıkığı kaçırma olasılığını azaltmaya yardımcı olur



Şekil-5: Klisic testi. Muayene eden, orta parmağını büyük trokanter üzerine ve işaret parmağını SIAS üzerine yerleştirir. A, Normal bir kalçada, iki parmağın arasına çizilen hayali çizgi (kırmızı çizgi) göbek deliğine doğrudur. B, Çıkık kalçada, trokanter daha proksimale yerleşir ve iki ve üçüncü parmak arası çizilen hayali çizgi göbek deliği ile pubis arasında bir noktaya distalize olur. (*Tachdjian's Pediatric Orthopaedics 5th Edition, 2014, chapter 16* 'dan değiştirilerek alınmıştır.)

3.Çocuk (Yürüme Çağı)

Yürüeyebilen bir çocukta tek taraflı çıkık kalça, belirgin klinik belirtilere neden olur. Bazı yazarlar, GKD'li çocukların yürümeye geç başladığını öne sürse de daha yeni çalışmalar anlamlı bir gecikme olmadığını göstermiştir. Etkilenen tarafın normal uzuvdan daha kısa görünmesi ve çocuğun etkilenen tarafta parmak ucuna basması dikkat çeker. Yürüme sırasında her adımlamada çıkık kalça addüksiyon yaparken pelvis düşer ve çocuk çıkık kalça üzerine yaslanır; buna abdüktor topallama veya Trendelenburg yürüyüşü denir. Küçük çocukta olduğu gibi etkilenen tarafta kısıtlanmış abdüksiyon vardır ve kalçalar fleksiyon halindeyken dizler farklı seviyelerdedir (Galeazzi belirtisi).

Yürüeyebilen çocukta, bilateral çıkık tek taraflı çıkıktan daha zor tanınır. Genellikle her iki tarafta çıkık mevcutsa ördekvari yürüyüş vardır, ancak bazı çocuklar bunu oldukça iyi maskeler ve yalnızca ayakta durma sırasında hemipelvisin düşmesi gözlenir. Artmış lordoz

yaygındır ve sıklıkla başvuru şikayetidir. Lordoz, genellikle mevcut olan kalça fleksiyon kontraktürünün bir sonucudur. Dizler aynı seviyededir ve abdüksiyon kısıtlılığı simetriktr. Genellikle çıkık kalçaların aşırı iç ve dış rotasyonu gözlenir.

Klinik başvurusunda bebeğin yaşı beraberinde yapılacak muayene ve gözlenebilecek bulgular Tablo-1 de özetlenmiştir.

Gelişimsel Kalça Displazisi Fizik Muayene Bulguları	
Yenidoğan (0-1ay)	Barlow (Çıkabilir) Ortolani (Yerine Oturtulabilir) Klisis Belirtisi
İnfant (1ay-1yaş)	Barlow (Çıkabilir) Ortolani (Yerine Oturtulabilir) Klisis Belirtisi Abdüksiyon Kısıtlılığı Galeazzi Belirtisi
Çocuk (Yürüme Çağı)	Klisis Belirtisi Abdüksiyon Kısıtlılığı Galeazzi Belirtisi Topallama Kısa Bacak Uzunluğu Lordoz artışı (Bilateral Çıkık ise)

Tablo-1: GKD fizik muayene bulguları

G.Radyografik Bulgular

1.Ultrasonografi

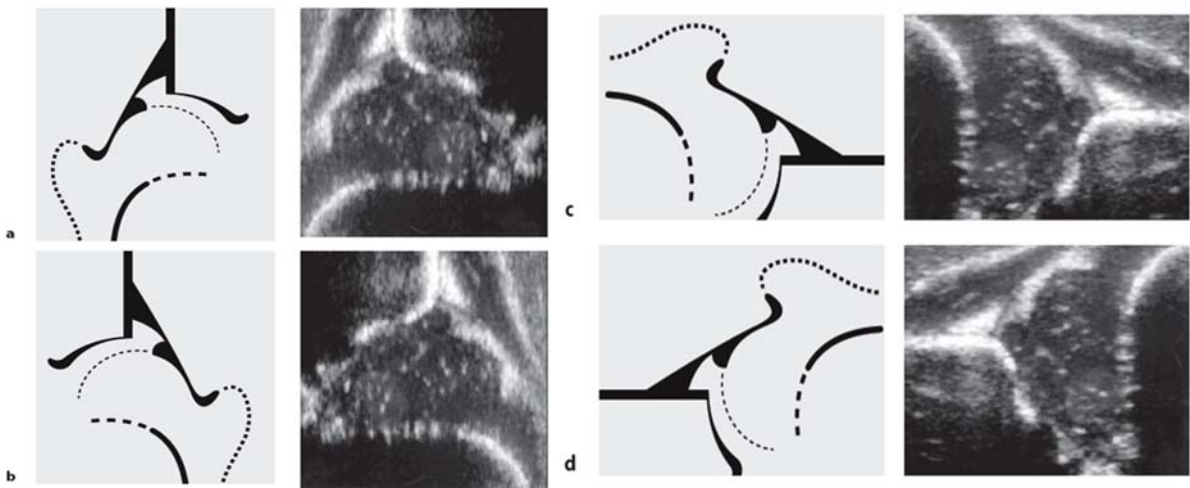
Neonatal kalça, çoğunlukla kıkırdaktan oluştuğu için standart radyografik tekniklerle görüntülenmesi zor bir yapıya sahiptir. Ultrasonografi, kalçanın yumuşak anatomisini ve femoral baş ile asetabulum arasındaki ilişkiyi çok iyi gösterir. Teknik gelişmeler görüntü kalitesini artırmış ve dinamik teknikler, statik görüntülerden elde edilen bilgilere önemli katkıda bulunmuştur.

Ancak ultrasonografi kullanımına dair hala çözümlenmesi gereken dört önemli soru vardır;

- 1- Ultrasonografi ne sıklıkla "sessiz" bir kalça tespit eder? (Negatif klinik muayene ile normal kabul edilen bir kalça, sonradan tedavi gerektirecek bir şekilde anormal hale gelir mi?)
- 2- Hangi ultrasonografi bulguları, kalçanın tedavi edilmesi gerektiğini gösterir?
- 3- Ultrasonografi kullanımı, tedavi gerektirmeyecek olan kalçaların tedavi oranını artırır mı?
- 4- Normal ultrasonografi bulgularına sahip kalçalar sonradan anormal hale gelir mi?

a) Ultrasonografide Graf Metodu

Kolay görüntüleme ve dolayısıyla yorumlama amaçlı olarak, kalça ultrasonunda görüntüleri sağ kalçanın anteroposterior (AP) röntgen filmindeki gibi düzenleyip görmek gerekmektedir (Araştırmalar, bu projeksiyonun beynin en kolay yorumladığı projeksiyon olduğunu göstermiştir). Bu nedenle, başın ekranın solunda olduğu geleneksel ultrason projeksiyonu ters çevrilir ve ideal olarak görüntü veya monitör, görüntülemeyi kolaylaştırmak için 90° döndürülür. Bu sayede tüm kalça eklemleri, sağ kalçanın x-ray antero-posterior görünümü gibi görünmesi için projekte edilir(4) (Şekil-6).



Şekil-6: İnfant kalça ultrasonografi için olası projeksiyonlar.

a) Tavsiye edilen anatomik projeksiyon, d) Geleneksel ultrason projeksiyonu. Tüm olasılıklar arasında anatomik projeksiyon en uygun olanıdır. Projeksiyonlardan b ve c önerilmez, ancak projeksiyon c, projeksiyon d'den daha iyi bir seçenektir. (*Hip*

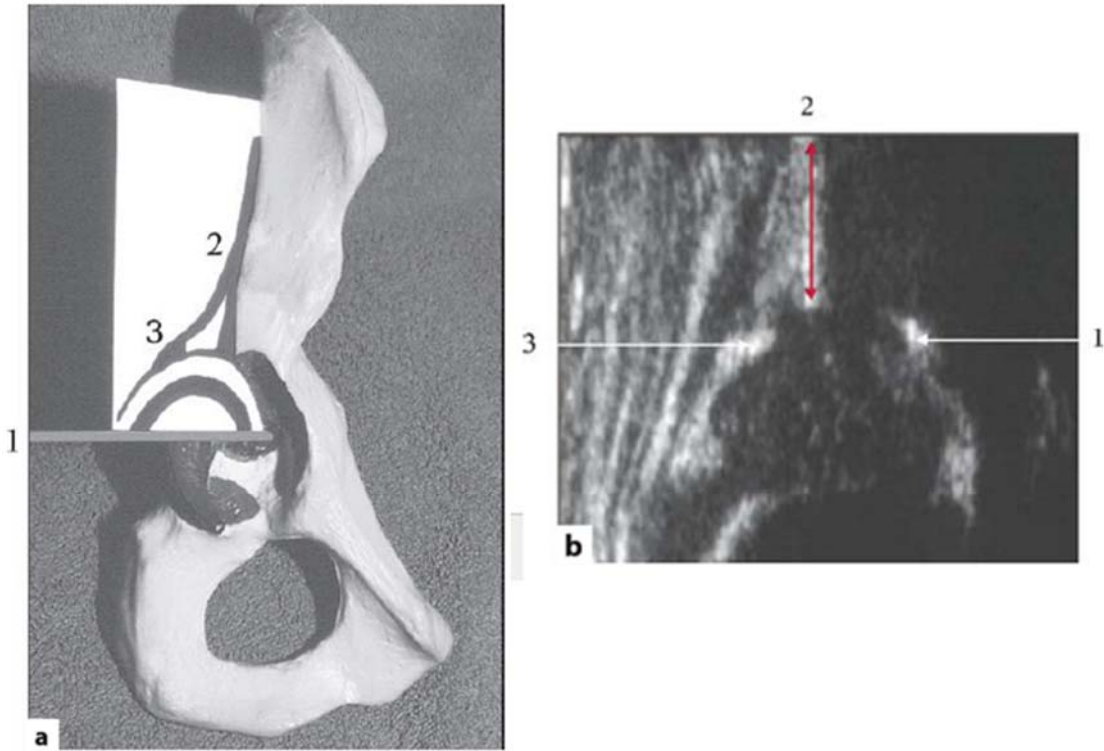
Sonography, R.Graf, Springer, 2006' dan alınmıştır.

Kalça eklem ultrasonografik muayenesinin tekrarlanabilir olması için her zaman aynı ultrasonik düzlem kesiti kullanılmalıdır. Bir düzlemi tanımlamak için üç noktanın uzayda tanımlanmış olması gerekir.

Kalça ultrasonu için bu noktalar şunlardır (Şekil-7):

- 1- Asetabulumun en derin noktası (iliumun alt bacağı)
- 2- Asetabular çatının orta üst bölümü (iliak kanatın dik kesiti)
- 3- Asetabular labrum.

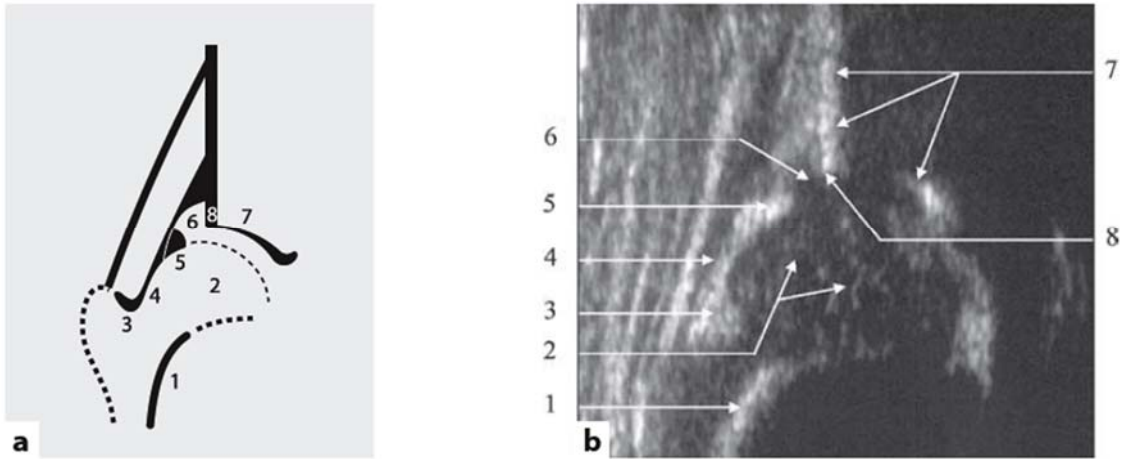
Bu noktalardan herhangi biri eksik veya net bir şekilde gösterilmiyorsa, ultrason görüntüsü işe yaramaz ve teşhis için kullanılmamalıdır.



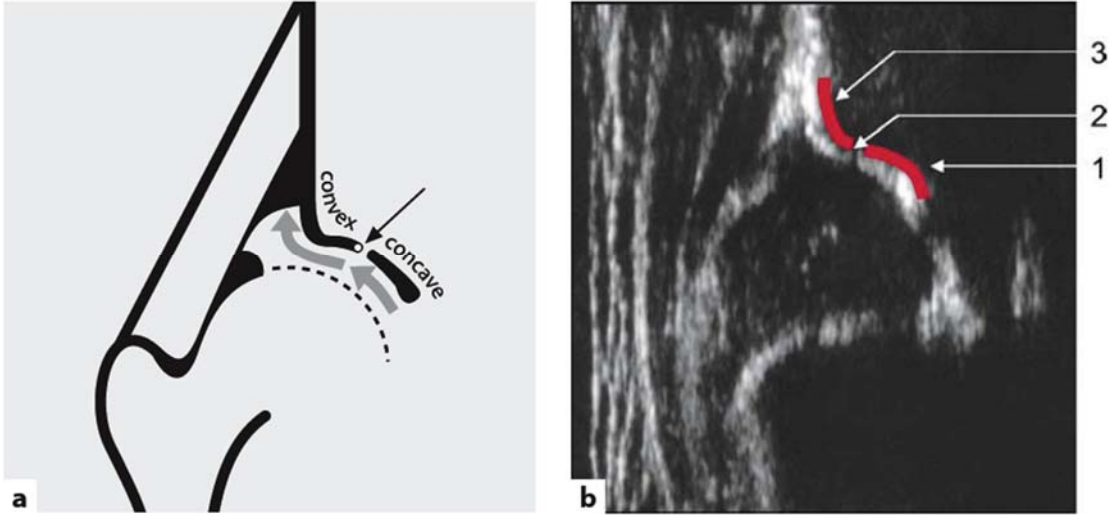
Şekil-7: a. Bebek kalçasının koronal düzlemdeki ultrason görüntüsünde üç belirgin nokta bulunur: 1, kesitsel düzlem için os ilium'un alt kenarı; 2, asetabular çatının orta bölümü (standart kesitsel düzlem); 3, asetabular labrum. b. 1, asetabular en derin nokta; 2, standart düzlem; 3, labrum. (*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006*' dan alınmıştır.)

Hatalardan kaçınmak için anatomik yapılar her zaman aşağıdaki sırayla tanımlanmalıdır (Şekil-8):

- 1- Kıkırdak-kemik geçiş bölgesi
- 2- Femur başı
- 3- Sinovyal kıvrım (asetabular labrum ile karıştırılmamalıdır)
- 4- Eklem kapsülü (intermusküler septum ile karışıklığı önlemek için)
- 5- Asetabular labrum
- 6- Asetabulumun hyalin kıkırdak çatısı
- 7- Asetabular çatının kemik bölümü
- 8- Kemik köşeyi tanımla (= asetabular çukurun iç bükeyliğinin dış bükeyliğe döndüğü nokta) (Şekil-9).



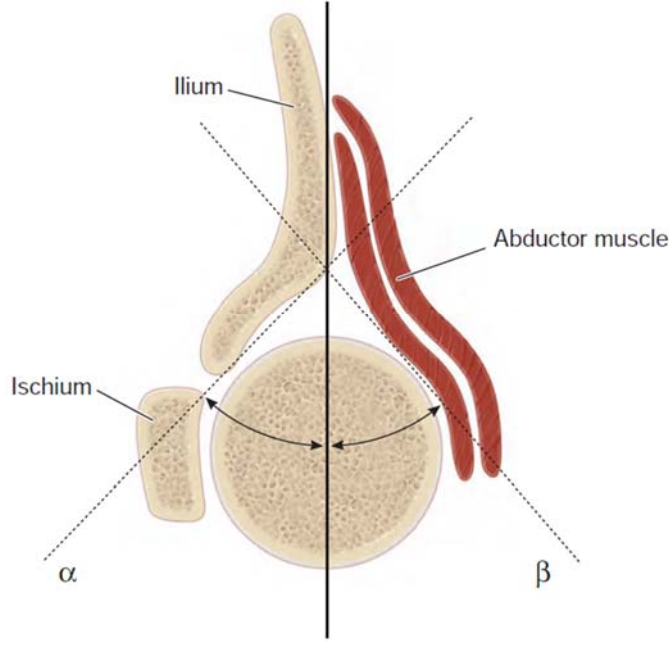
Şekil-8: Kalça ultrasonografi görüntüsünün anatomik tanımlama sırası: 1- Kıkırdak-kemik birleşim yeri, 2-Femoral baş, 3-Sinoviyal kıvrım, 4-Eklem kapsülü, 5-Asetabüler labrum, 6-Hiyalin kıkırdakla örtülü asetabular çatı, 7-Asetabüler çatının kemik bölümü, 8-Kemik köşe: iç bükeylikten dış bükeyliğe dönüş noktası. (*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006' dan alınmıştır.*)



Şekil-9: a) Kemik köşe tanımı: Kemik köşe, kemik asetabular çatısının iç bükeyliğinin ilium'un dış bükeyliğine dönüştüğü noktadır (dönüş noktası bir ok ile işaretlenir). b) 1, İç bükeylik; 2, ses gölgesi ile işaretlenmiş dönüş noktası (ölçüm noktası); 3, dış bükeylik (*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006*' dan alınmıştır.)

Ultrasonografi ile bebek kalçasının değerlendirilmesinde öncü olan Graf, ilk olarak kadavra kalçalarını inceleyip sonografik kalça anatomisini röntgen ve artrogram görüntüleri ile karşılaştırarak tanımlamıştır. Graf, büyük trokanter üzerine yerleştirilen transdüserle lateral bir görüntüleme tekniği önermiş ve muayenenin 2 ila 3 dakika sürmesi gerektiğini belirtmiştir(4).

Graf ultrasonografik kalça sınıflandırma sistemini önermiş ve bu sistem sonografik kalça yapılarının oluşturduğu açılar temel alınarak tasarlanmıştır. Taban çizgisi, iliumdan dik inilen çizginin asetabulumun kemikli ve kıkırdaklı kısımlarını kestiği çizgidir. Eğim çizgisi, kıkırdaklı asetabulumun kenarı boyunca çizilen labruma teğet çizgiyi ifade eder. Üçüncü çizgi asetabular çatı çizgisi olarak bilinir ve asetabular en derin noktadan geçiş noktasına çizilen teğet kemik çatı boyunca uzanır. Asetabular çatı hattı ile taban çizgisi arasındaki açı alfa açısını, eğim çizgisi ile taban çizgisi arasındaki açı beta açısını oluşturur (Şekil-10). Daha küçük bir alfa açısı, daha sıkı bir kemikli asetabulumu gösterir. Daha küçük bir beta açısı, daha iyi bir kıkırdaklı asetabulumu gösterir. Yani femoral başın sublüksasyonu arttıkça alfa açısı azalır ve beta açısı artar.



Şekil-10: Graf sınıfını belirlemek için ultrasonografi taramalarında alfa (α) ve beta (β) açılarının ölçümü. Alfa açısı, temel çizgi ile kemiksi asetabulumun çatısı arasındaki açıdır. Beta açısı ise temel çizgi ile kırıkdağı asetabulum çatısı arasındaki açıdır. (Tachdjian's Pediatric Orthopaedics 5th Edition, 2014, chapter 16 'dan alınmıştır.)

Graf ultrason kalça sınıflamasında en basit haliyle, tip I kalçalar normaldir, tip II kalçalar ya fizyolojik ya da patolojik immatürdür, tip III kalçalar sublüksedir ve tip IV kalçalar çıkıktır. Tip I kalçalar takip gerektirmezken, tip III ve IV kalçalar genellikle tedavi gerektirir. Tip II kalçalar ise derecesi anormal olan ve tedavi gerekliliği belirsiz olan bir grup oluşturur. Graf, tip II'yi farklı yayınlarında birkaç farklı şekilde alt sınıflara ayırmıştır(25).

b)Tiplendirme

i.Tip 1 (Matür)

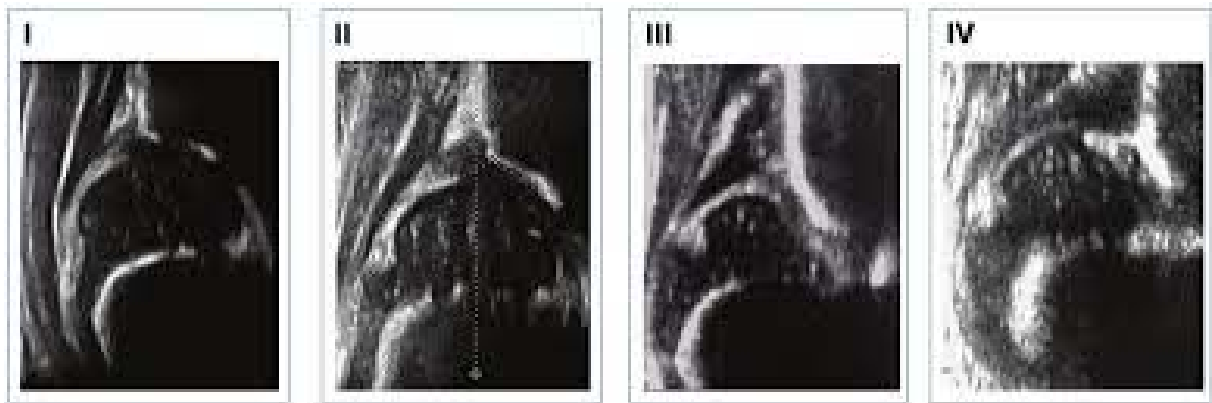
α açısı 60° ve üstündedir. Matürasyonunu tamamlamış doğal bir kalçayı ifade eder. Tedavi ve takip gereksinimi olmayan kalçaları gösterir. Tip I kalçaların hangi sıklıkla ilerleyen dönemlerde immatür kalçalara dönebileceği tam olarak bilinmemekle beraber teorik olarak riskin % 0.012 olduğu öngörülmektedir.

iii. Tip 2c

α açısı 43–49° arasında β açısı 77°'den küçük bebekler Tip 2c olarak sınıflandırılır. Tip 2c kalçalar ultrasonografi esnasında dinamik muayeneye tabi tutulurlar. Kalça sonografik olarak görüntülenirken, dizden kalçaya doğru femur aksı boyunca kuvvet uygulanır. Bu esnada labrumun yer değişimi (β açısındaki değişim) izlenir. Eğer kompresyonla β açısı 77°'nin üstüne çıkıyorsa, kalça Tip 2c instabil olarak tanımlanır. Kompresyonla labrum yer değiştirmiyorsa, Tip 2c stabil olarak tanımlanır. Tip 2c kalçalar redükte kalçalar olsa da instabilite ve displazi nedeniyle tedavi edilmeleri gerekir.

iv. Tip 3/4

α açısı 43°'den küçük kalçalar Tip 3 ve Tip 4 kalça olarak sınıflandırılır. β açısı bu grup kalçalarda 77°'den fazladır. Elde edilen sonografik görüntünün morfolojik değerlendirmesi tiplendirmede esastır. Tip 3 kalçalarda kıkırdak tavan femur başının üstündedir. USG' de perikondrium imajı yukarıdan aşağıya doğrudur. Tip 4 kalçalarda kıkırdak çatı femur başının inferiorundadır. Ultrason görüntüsünde perikondrium imajı yatay veya aşağıdan yukarıya doğrudur (Şekil-12). Tip 4 kalçalarda asetabulum ve femur proksimali aynı koronal düzlemde olmadığı için tüm anatomik yapılar aynı kesitte görüntülenemeyebilir; ayrıca Tip 4 görüntülerde standart plan aranmaz. Tip 3 ve Tip 4 kalçalar kesinlikle tedavi gerektiren kalçalardır.



Şekil-12: Ultrasonografik değerlendirmede Kalça tiplendirmesi. (*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006' dan alınmıştır.*)

Gelişimsel kalça displazisinde alfa ve beta açılarına göre ultrason sınıflaması ve tedavi algoritması Tablo-2 de özetlenmiştir.

Gelişimsel Kalça Displazisinde Graf Sınıflaması				
Sınıf	Alfa Açısı	Beta Açısı	Tanımlama	Tedavi
Standart Sınıflama				
1	>60°	<55°	Normal	Yok
2a	50°-60°	55°-77°	Fizyolojik İmmatür (<3ay)	İzlem
2b	>50°-60°	55°-77°	Patolojik İmmatür (>3ay)	Pavlik Bandaj
2c	43°-49°	>77°	Asetabular Yetmezlik	Pavlik Bandaj
2d	43°-49°	>77°	Everte Labrum	Pavlik Bandaj
3	<43°	>77°	Everte Labrum	Pavlik Bandaj
4	Ölçülemez	Ölçülemez	Çıkık	Pavlik Bandaj / Kapalı-Açık Redüksiyon
Basitleştirilmiş Sınıflama				
1	>60°	<55°	Normal	Yok
2	43°-60°	55°-77°	Gecikmiş Ossifikasyon	Değişken
3	<43°	>77°	Lateralizasyon	Pavlik Bandaj
4	Ölçülemez	Ölçülemez	Çıkık	Pavlik Bandaj / Kapalı-Açık Redüksiyon

Tablo-2: Gelişimsel kalça displazisinde graf sınıflaması tabloda özetlenmiştir.

Tedavi yaklaşımları, Graf tip 2 kalçaları hakkında değişiklik göstermektedir. Bazı yazarlar, klinik instabilitesi olan kalçaları ultrasonografi sonuçlarına bakılmaksızın tedavi ederler. Diğerleri ise tüm tip 2 kalçaları abduksiyon cihazları ile tedavi eder. Kesin bir tedavi kılavuzu konsensusu bulunmamaktadır. Çoğu kalçanın sonografik bulgularının yaşla birlikte iyileştiği göz önüne alındığında, tedavi kararları doğum anında değil, 6 haftalık yaşından itibaren yapılan ultrasonografi muayenelerine dayandırılmalıdır.

Harcke ve Kumar, ultrasonografi ile Barlow ve Ortolani manevralarını tekrarlayarak kalçayı hareket ettirmeyi ve subluksasyon derecesini ultrasonografi ile belgelemeyi önermişlerdir(26). Hayatın ilk birkaç gününde, 4 ila 6 mm hareket normal kabul edilir ve stres görüntülerine dayalı kesin tedavi endikasyonları hala bulunmamaktadır(27). Güncel araştırmaların çoğu, ultrasonografinin radyografiye göre bebek kalçasının anormalliğinin daha

hassas bir göstergesi olduğu fikrini desteklemektedir. Araştırmalar, ultrasonografi ile taramanın klinik olarak sessiz kalçaları tespit ettiğini, ancak kendiliğinden çözülebilecek küçük anormalliklerin tedavi oranını artırmadığını öne sürmektedir.

Bialik(28) ve arkadaşları, ultrasonografi kullanımına ilişkin bazı yararlı kılavuzlar sunmuşlar ve tedaviye başlamayı geciktirerek gereksiz yere tedavi edilen kalça sayısını azaltmaya yönelik bir protokol sunmuşlardır. Yaptıkları çalışmada ilk muayenesinde kalçaları stabil olan yenidoğanlar, doğumdan sonraki 6 haftada klinik olarak ve ultrasonografi ile yeniden muayene edilmiştir, ancak stabil olmayan kalçalar doğumdan sonraki 2. haftada yeniden muayene edilmiştir. İkinci muayenede ultrasonografik inceleme ile stabil hale gelmeyen kalçalarda Pavlik tedavisine başlanmıştır. Belirlenen bekleme sürelerinin sonunda, anormal kalçaların %90' ı tedaviye gerek kalmadan normale dönmüştür. Doğum sonrasında instabil olarak belirlenen kalçalar tedavisiz takiplerinde 2. haftada yapılan kontrollerinde Graf tip 2a kalçaların %97'si, tip 3 kalçaların %83'ü ve tip 4 kalçaların %75'inin matürasyona ulaştığı gözlemlenmiştir(28).

Almanya'da evrensel tarama programı ile 5 yıl deneyimin gözden geçirilmesi, GKD'li çocuklarda cerrahi tedavi ihtiyacını azaltmış ancak ortadan kaldırmamıştır. Diğer yazarlar, evrensel tarama programlarına yanıt olarak cerrahi oranlarında daha dramatik bir azalma bildirmişlerdir(29).

Birçok yazar, ultrasonografinin fazlasıyla duyarlı olduğuna inanmakta ve normal gelişecek kalçaların gereğinden fazla tedavi edilmesine yol açtığını düşünmektedir. Tarama çalışmaları, klinik muayene sırasında normal olarak saptanan kalçaların %0.012'sinde daha sonradan displazi belirtisi olduğunu göstermiş ve çoğu Graf 2a kalçanın tedavi olmadan matürasyona ulaştığını göstermiştir(28).

Ultrasonografi taraması kullanıldığında, sadece klinik bulguların kullanılmasına göre tedavi oranının iki katına çıktığını gösteren başka bir çalışma bulunmaktadır. Diğer bir çalışma, anormal ultrasonografi taramasına sahip bebeklerin sadece %9.5'inin klinik GKD belirtilerine sahip olduğunu bulmuştur(1). Birçok yazar, ultrasonografi ile evrensel tarama yapılmasının çocuklarda tedavi gereksinimini artırmasına rağmen, geç dönemdeki dislokasyonların sayısını azaltmadığını bildirmiştir. Evrensel taramanın, klinik taramanın yeterli kalitede olduğu durumda gerekli olmadığı birçok yazar tarafından düşünülmektedir(30).

Ultrasonografinin neonatal kalça anormalliklerinin tespitinde değerli bir katkı olduğunu ancak küçük anormalliklerin aşırı tedavi edilmesini önlemek için dikkatli bir şekilde kullanılması gerektiği sonucuna varmalıyız. Önemli bir not olarak, ultrasonografi ile elde edilen normal sonuçların ilerleyen dönemdeki anormallikleri dışlamadığını belirtmek önemlidir.

Neonatal dönemde normal ultrason sonuçlarına sahip olan çocuklarda yürüme yaşlarında displazi vakaları bildirilmiştir. İmre, makalesinde normal muayene ve ultrason incelemelerine sahip olan makat gelişli 300 bebeği takip etmiş ve bunların %29'unun 5 aylık bir takip sürecinde kalça röntgenlerinde anormallikler olduğunu göstermiştir(31). Bu nedenle, kronolojik yaşa göre 6.haftada yapılan ve normal sınırlarda olan ultrasonun ilerleyen yaşlarda kalçanın normal gelişim göstereceğini garanti etmediği sonucuna da varabiliriz.

2.Radyografi

Pelvisin düz radyografisi genellikle her yaştaki bireylerde çıkık kalça görüntülerini gösterebilir. Ancak tipik GKD'li yenidoğanlarda, instabil kalça radyografik olarak normal görünebilir. Çocuk 3 ila 6 ay arasına geldiğinde radyografik olarak çıkık açıkça görünecektir, ancak muayene eden kişi, anormalliği tanımak için pelvisin radyografik belirtilerine aşina olmalıdır. Bebeklerde femur başı kemikleşmemiştir ve asetabulumun çoğu kıkırdaktan oluşur. Triradiat kıkırdak üç kemiğin (ilium, iskiüm, pubis) birleşimi olarak asetabulumun merkezinde bulunur.

Uygun bir pelvis radyografik incelemesi yapmak için değerli birkaç klasik çizgi bulunmaktadır. Hilgenreiner çizgisi, triradiat kıkırdaklar boyunca geçen yatay bir çizgidir. Perkin çizgisi ise asetabulumun lateral kenarına çizilir ve Hilgenreiner çizgisine dik olarak bulunur. Shenton hattı, femurun küçük trokanterinden başlar, femoral boyun boyunca yükselir ve pubis iç kenarı boyunca devam eder. Normal bir kalçada, femur metafizinin medial çıkıntısı Perkin ve Hilgenreiner çizgilerinin birleşiminin infero-medialinde yer almalıdır. Shenton hattı normal bir kalçada düzgün ve devamlı olarak gözlenir. Çıkık bir kalçada ise metafiz Perkin çizgisinin lateralinde, Hilgenreiner çizgisinin proksimalinde yer alır; Shenton hattı devamlılığını yitirmiş olarak gözlenir.

Başka bir faydalı ölçüm, Hilgenreiner çizgisinin birleşim noktası ile asetabular yüzey boyunca çizilmiş bir çizgi arasında oluşan bir açı olan asetabular indekstir. Normal olarak, yeni doğanlarda asetabular indeks ortalama 27.5 derecedir. 6 aylık bebeklerde ortalama 23.5 derecedir. 2 yaşına geldiğinde, indeks genellikle 20 dereceye düşer. 30 derece normalin üst sınırı olarak kabul edilir. Asetabular yüzeyin ağırlık taşıyan bölgesinin (sourcil'in) asetabular indeksi erişkin hale gelen asetabulumda 15 dereceden az gözlenir.

Daha büyük çocuklarda, lateral merkez-kenar açısı kalça pozisyonunun kullanışlı bir ölçüsüdür. Bu açı, Perkin çizgisi ile asetabulumun lateral kenarını femoral başın merkezine bağlayan bir çizginin birleşim noktasında oluşur. 6 ila 13 yaşındaki çocuklarda, 19 dereceden

fazla bir açı normal olarak rapor edilmiştir; 14 yaş ve üzeri çocuklarda ise 25 dereceden fazla bir açı normal kabul edilir.

Faydalı bir radyografik projeksiyon, her iki kalçanın da abdükte edildiği, iç rotasyona alındığı ve ekstansiyona alındığı Von Rosen(7) görüntüsüdür. Normal kalçada, femoral şafttan proksimale doğru uzatılan hayali bir çizgi asetabulumu ortalayarak keser. Kalça çıkıksa, çizgi asetabulumun üstünde kesilir.

Pelvisin anteroposterior (AP) radyografisinde görülen asetabular gözyaşı figürü, birkaç çizgiden oluşur. Bu figür, asetabulumun lateral duvarı, pelvisin mediali ve asetabular çıkıntı tarafından oluşturulur. Gözyaşı figürü normal bir kalçada 6 ila 24 ay arasında görünür hale gelir. Çıkık kalçada ise asetabular gelişim geri kaldığı için gözyaşı figürünün görünür hale gelmesi de gecikmiş olur. Smith(32) ve arkadaşlarının bir çalışmasında gözyaşı figürü, kalçalar gelişene kadar görünmezken, Albiñana ve arkadaşlarının bir çalışmasında çıkık kalçalarda 29 aydan itibaren görünür hale geldiği bulunmuştur. Kalça çıkık veya sublukse olduğunda bu figür üstten alta doğru daha geniş hale gelir. Redüksiyon sonrası femoral baş asetabulumu yeniden şekillendirir ve gözyaşı figürü yavaşça daralır. Gözyaşı figürünün redüksiyondan sonraki 6 ay içinde görünür hale geldiği kalçalar, gözyaşı figürünün daha sonra görüldüğü kalçalardan daha iyi bir prognoza sahip olduğu düşünülmektedir. Dört tür gözyaşı figürü gözlemlenmiştir: açık, kapalı, çapraz ve ters. Bunların klinik önemleri tartışmalıdır. Gözyaşı figürleri ayrıca U veya V şeklinde tanımlanmış, V şeklinde bir gözyaşı figürü, displastik bir kalça ve kötü bir sonuçla ilişkilendirilmiştir.

False profil radyografik görüntü(33), asetabulumun yan görünümünü temsil eder ve özellikle anterior asetabular duvar displazisini değerlendirmek için kullanışlıdır. Hasta, röntgen ışımına 65 derece eğimli olarak pozisyonlandırılır ve ayaklar kaset ile paralel olacak şekilde yerleştirilir. Anterior örtünmenin derecesi, sıklıkla tanımlanması zor olan bir ossifikasyon hattı olan "sourcil" tarafından temsil edilir. Femur başı merkezinden proksimale çekilen dikme ile femur başını sourcil köşesine birleştiren çizgi arasında anterior merkez-kenar açısı ölçülür; ortalama değeri 32.8 derecedir ve 17.7 ila 53.6 derece arasında değişir. Düşük olduğu dereceler anterior örtünmenin yetersiz olduğu displastik kalçalarda gözlemlenir.

3. Manyetik Rezonans Görüntüleme (MRG)

MRG, bebek kalçasının mükemmel anatomik görselleştirmesini sağlar, ancak maliyet ve sedasyon gerekliliği nedeniyle yaygın olarak kullanılmaz. Kashiwagi(34) ve arkadaşları, GKD'li kalçaların sınıflandırılması için MRG tabanlı bir sınıflandırma önermişlerdir. Grup 1 kalçalarda sivri bir asetabular kenar mevcut olup ve hepsini Pavlik bandaj ile tedavi edilebilir olarak sınıflandırmışlardır. Grup 2 kalçalar yuvarlak bir asetabular kenar mevcut olup neredeyse hepsi Pavlik bandaj ile tedavi edilebilir olarak sınıflandırılmıştır. Grup 3 kalçalarda ters dönmüş bir asetabular kenar mevcut olup hiçbirinin Pavlik bandaj ile tedavi edilemeyeceğini düşünmüşlerdir. MRG bulgularında, iliak kemik genişlemesi, asetabular tabanın üst ve arka kısımlarının laterale kayması, asetabular kıkırdağın aşırı büyümesi ve asetabular kıkırdağın arka kısmının konveks olması sayılabilir. Gadolinyum-kontrastlı artrografi ile MRG, kalça displazisi ve ağrısı olan ergen hastanın değerlendirmesi için önemli bir araçtır. Bu teknik, labrumun ve kalça eklemi kıkırdağının durumunun değerlendirilmesine olanak tanır. Labrumun devamlılığını yitirmesi ve yırtılması, kıkırdağın delaminasyonu ve eklem kıkırdağı kaybı bu teknikle tanımlanabilir(35).

H. Tarama

Yenidoğan bebeklerde kalça instabilitesi için klinik muayene yapılmasının gerekliliği dünya genelinde tüm yazarlarca desteklenmektedir. Ancak, bu önerinin ötesinde, ileri tarama kriterleri konusunda bir fikir birliği bulunmamaktadır. Birçok yazar, GKD ile ilişkilendirilen risk faktörlerine sahip bebeklerin, deneyimli bir muayene ile ultrasonografiyi birleştirerek daha dikkatli bir taramaya alınması gerektiğini kabul etmektedir. Bu risk faktörleri arasında GKD aile geçmişi, makat doğum pozisyonu, tortikollis, metatarsus adduktus, oligohidramnios ve kız cinsiyet yer almaktadır.

Daha önce belirtildiği gibi, ultrasonografi ile taramanın nasıl yapılacağı halen tartışmalıdır. Bazı yazarlar, uygun risk faktörlerine sahip tüm bebekler için klinik bulguların olmaması durumunda dahi ultrasonografiyle taramayı önerirken, diğerleri risk altında olduğu düşünülen kalçalarda bile klinik bulgular olmaksızın önemli anormalliklerin düşük bir oranda olduğunu ve tarama yapılmamasını önermişlerdir. Amerikan Pediatri Akademisi, GKD aile geçmişi olan veya makat geliş doğan dişi bebekler için radyografik taramayı (ultrasonografiyi) öneren bir uygulama kılavuzu yayınlamıştır.

Seçici ve evrensel ultrason tarama stratejilerini karşılaştıran iki prospektif randomize kontrollü çalışma bulunmaktadır. Her iki çalışma da protokolün bir parçası olarak uzman klinik muayeneyi dahil etmişlerdir. Holen(30) ve arkadaşları, tarama stratejilerini inceledikleri çalışmalarında 15,529 bebek ile yapılan çalışmalarını sunmuşlardır. Bu bebekler, ya klinik muayene ile evrensel ultrason muayenesi ya da tüm kalçaların iyi klinik taraması ile seçici ultrason muayenesi stratejilerine tabi tutulmuştur. Holen(30) ve arkadaşlarının çalışmasında geç teşhis edilen vakaların oranı, evrensel ultrason taraması ile 0.13/1000 ve seçici tarama ile 0.65/1000 bulunmuş olup geç teşhis farkı istatistiksel olarak anlamlı görülmemiştir.

Geç teşhis edilen GKD vakaları aynı zamanda Rosendahl(1) ve arkadaşları tarafından yapılan ikinci bir çalışmada da değerlendirilmiştir. Bu çalışmada üç çalışma grubu bulunmaktadır: genel ultrason taraması, risk faktörü taraması ve sadece klinik tarama. Ultrason grupları (ilk iki grup) aynı zamanda klinik taramaya da tabi tutulmuştur. Gruplara göre geç teşhis edilen vakalar sırasıyla 0.3/1000, 0.7/1000 ve 1.3/1000 idi. Daha fazla ultrason taraması yapıldığında daha az geç teşhis edilen vakaların görülmesine rağmen, bu farklar istatistiksel olarak anlamlı bulunmamıştır.

Clarke(36) ve arkadaşları prospektif kohort çalışmalarında seçici kalça ultrason taraması ile klinik taramayı karşılaştırmışlardır. Seçim kriterleri, klinik instabilite, makat prezantasyon, aile öyküsü ve ayak deformitesini içerip risk faktörleri bulunan yenidoğanlar ultrason taramasına tabii tutulmuşlar. Gecikmiş olarak saptanan GKD tanı oranlarının 1.28/1000'den 0.74/1000'e düştüğünü gösterebilir de bu oran, literatürdeki evrensel ultrason tarama programları kullananlardan daha yüksek kalmaya devam etmektedir.

1..Türkiye Tarama Programı

GKD'nin Türkiye'deki görülme sıklığının 1000 canlı doğumda yaklaşık 10 ile 15 arasında olduğu öngörülmektedir. Yenidoğan kalçası iki yöntemle GKD açısından taranabilir. Evrensel taramada tüm yenidoğan kalçaları yaşamın en geç ilk 4-6 haftasında ultrasonografik olarak taranırlar. Seçici taramada ise risk faktörü taşıyan ve/veya en az bir fizik muayene bulgusu pozitif olan bebekler yaşamlarının en geç ilk 4-6 haftasında ultrasonografik olarak taranırlar.

Yenidoğan döneminde kalçaların fizik muayenesi GKD tanısında altın standart olarak düşünülmesine karşın, kesin tanı için kalça ultrasonografisi dünyada yaygın olarak kabul gören ve kullanılan bir yöntemdir. Evrensel tarama programlarının etkinliği gösterilmekle birlikte bu

uygulamanın maliyet etkinliği sorgulanmış ve tüm yenidoğanlar yerine riskli grubun ileri görüntüleme yöntemleri ile değerlendirilmesinin daha maliyet etkin olacağı bildirilmiştir. Ülkemizde uygulanılan tarama programında tüm bebekler USG ile taranamayacaksa en azından belirlenecek risk grubunun kalçalarının 3-4. haftalarda USG ile tetkik edilmesi ön planda yeterli olacağı 2010-2013 yılları arasında yapılan Sağlık Bakanlığı ve ocuk Ortopedisi Derneği alışmalarınca kararlaştırılmıştır.

Bu programın amacı yenidoğan döneminde (0-4. hafta) tüm bebeklerin kalça çıkığı açısından muayenelerinin yapılması, riskli ve klinik muayenede şüpheli grubun ileri tetkik tarama için (USG) yönlendirilmesi, tedavi gerektiren olgularda erken ve uygun tedavilerinin başlatılması böylece kalça çıkığı için yapılacak cerrahi tedavi sayısı ve muhtemel komplikasyonların en aza indirilmesidir. Bu bağlamda bir akış şeması nerisi ile 2013 yılında Türkiye çapında "seçici" tarama programı başlamıştır.

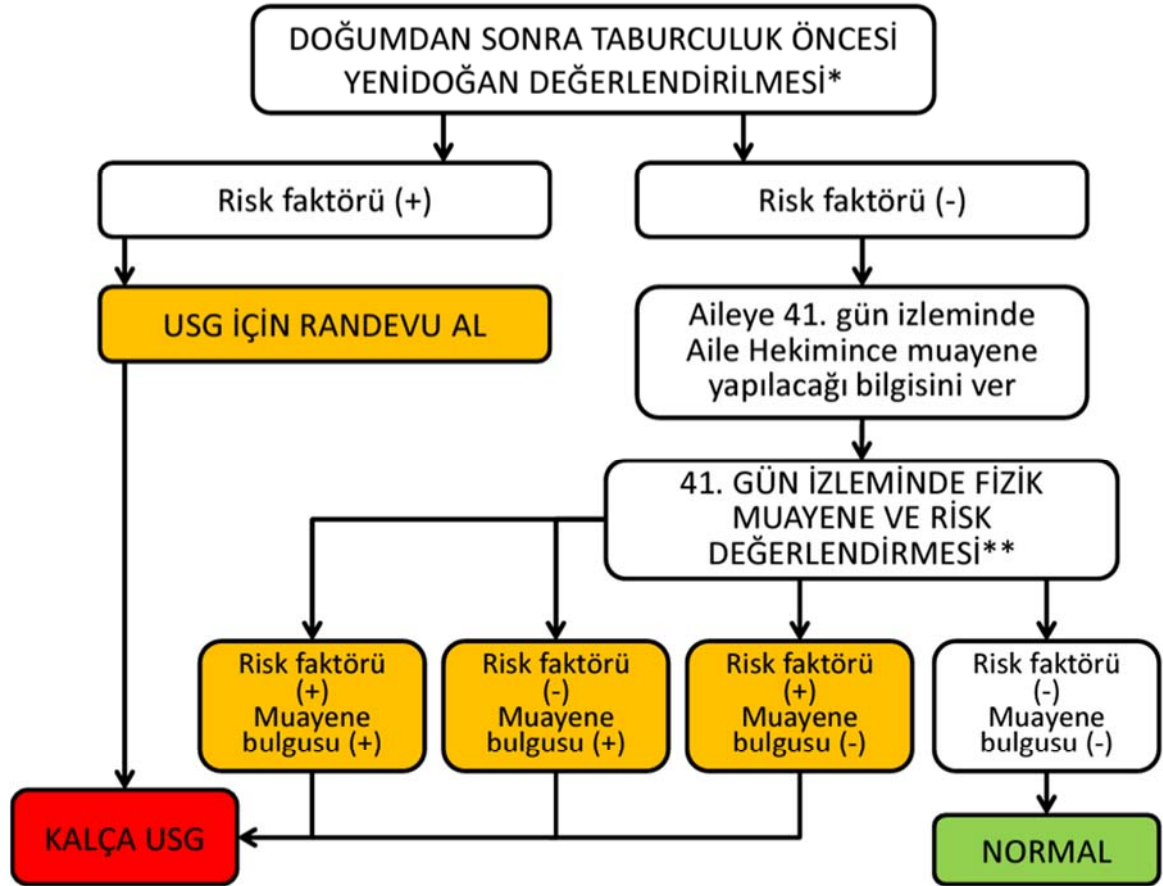
T.C. Sağlık Bakanlığı tarafından tanımlanmış olan akış şemasında (şekil-13):

1. Doğum sonrası ilk 48 saat içinde görevli sağlık personeli bebeğin ailesi ile yüz yüze görüşme yaparak GKD'nin olası nedenleri ve tanısı hakkında aileyi bilgilendirir ve GKD hakkında ayrıntılı bilgiler içeren bir broşürü aileye verir.
2. Sağlık personeli bebekte GKD için bilinen risk faktörleri varsa (ilk doğum, kız cinsiyet, pozitif aile öyküsü, makat prezantasyon, çoğul gebelik, oligohidroamnios, tortikollis, metatarsus adduktus, pes kalkaneovalgus, kundak uygulaması) bunları kaydeder. Risk faktörlerinden herhangi biri pozitif ise kalça ultrasonografisi için randevu alınır. Risk faktörü yok ise 4. izleminde (41. gün izlemi) fizik muayene için aile hekimine yönlendirilir.
3. Aile hekimi tarafından bebelere risk değerlendirmesi ve kalça fizik muayenesi yapılır. Risk faktörü ve /veya pozitif klinik bulgusu varsa bu bulgular Aile Hekimi Bilgi Sistemi (AHBS) ne kaydedilir ve bebek USG için hazırlanmış formla sevk edilir.
4. Daha sonra ilgili sağlık görevlisi tarafından her iki kalçanın Graf yöntemiyle ultrasonografik incelemesi yapılır. Her kalçadan standart planda en az iki tane sonogram baskısı alınır ve bunlar Graf'ın ultrasonografik sınıflama sistemine göre değerlendirilir. Değerlendirme sonucu, Aile Hekimine sevk formu üzerinden geri bildirilir ve Aile Hekimi bu sonuçları AHBS 'ne kaydeder.
5. Yapılan ultrasonografik inceleme sonucunda tip 1 olarak değerlendirilen kalçalar izlemiden çıkarılır.

6. Tip 2a kalçası olan bebekler de dahil olmak üzere tip 1 dışındaki tüm bebekler ortopedi ve travmatoloji uzmanına yönlendirilir.

Tarama programı orjinal haliyle evrensel taramadan ziyade seçici tarama programı olarak planlansa da yıllar boyunca pratik uygulamada evrensel programa kendiliğinden evrilmiştir(37).

GKD akış şeması



*Doğum sonrası taburculuk öncesi hastanede yapılacaktır

**Aile hekimince yapılacaktır

Şekil-13: Gelişimsel kalça displazisi taramasında T.C. Sağlık Bakanlığı akış şeması (<https://hsgm.saglik.gov.tr/tr/tarama-programlari/gkd-tarama-programlari.html> sitesinden alınmıştır)

III.YÖNTEM

A.Çalışma Dizaynı

Bu çalışma 2023 yılında İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Ortopedi ve Travmatoloji Anabilim Dalı bünyesinde yürütülmüş olup tarama programı altında kliniğimize yönlendirilen 6-12 hafta arası yenidoğanların yapılan kalça ultrason verileri kullanılmıştır. Ultrason verilerinin toplanılması ve çalışma bünyesinde bu verilerin işlenmesi, paylaşılması için İstanbul Üniversitesi İstanbul Tıp Fakültesi Klinik Araştırmalar Etik Kurulu'ndan etik kurul onayı (25.01.2023-1594427) alınmıştır.

Çalışma iki aşamalı olarak planlanmıştır;

1-İlk aşamasında kalça ultrason verilerinin temini ve işlenmesi amacıyla 2023 yılında kliniğimize yenidoğan taraması için başvuran yenidoğanlara uygulanan kalça ultrason görüntülemeleri Clarius L7 HD3 ultrason cihazı ile kayıt altına alınmıştır. Alınan görüntülemelerin (video) işlenmesi ve bilgisayar destekli programın oluşturulması amacıyla etik kurul izni altında Boğaziçi Üniversitesi Bilgisayar Fakültesi öğretim üyeleri ve ekibi ile paylaşılmıştır. İşlenen ve standart plan tanımlaması için hazırlanan program ilgili öğretim üyesi ve alanında uzman (Pediatrik ortopedi) değerlendirici tarafından ön teste tabii tutulmuştur.

2- İkinci aşamada hazırlanan programın video üzerinden standart plan tespiti için yazılımın doğruluk oranının karşılaştırması; İTF Ortopedi ve Travmatoloji AD' da uzmanlık eğitimi alan 2,3,4,5. Kıdem yılından seçilmiş 3 asistan, 1 radyolog ve 1 uzman ortopedist gözlemci ile yapılmıştır. Bu 7 gözlemcinin (4 ortopedi asistanı, 1 radyolog, 1 ortopedi uzmanı, 1 yapay zekâ) doğruluk değerlendirmesi alanında uzman 2 pediatrik ortopedist tarafından Graf metodu gözetilerek yapılmıştır.

Dahil edilme kriterleri;

- 1- 6-12 hafta arasında kliniğimize tarama amacıyla başvuran yenidoğanlar
- 2- Kalça ultrason taraması sırasında Standart plan temini yapılabilen görüntülemeler.
- 3- Graf Tip 1 ve Tip 2 kalçaya sahip bebekler.

Dışlanma kriterleri;

- 1- Standart plan temini yapılamayan hastalar (Graf tip 3, tip4 kalçalar uygun standart plan temini sırasında yaşanan zorluklar nedeniyle çalışma dışı edilmiştir)
- 2- Konservatif/Operatif tedavi gereksinimi olabilecek ek hastalık varlığı
- 3- Teratolojik kalça çıkıkları
- 4- <6hafta ve >12 hafta başvuruları

Çalışmanın birinci aşamasında yazılımın eğitilmesi için, GKD taraması için kliniğimize başvuran 110 bebekten elde edilen video görüntülerden standart planın teşhis edildiği ve onaylandığı tek kare ve videolar kullanılmıştır. Bu aşamadaki akış planı için alınan video görüntülerden (45 adet harmanlanmış video, total uzunluk 2 saat 1 dakika) 552 adet tek kare standart plan tespiti yapılan .jpg görüntüler alındı. Bu 552 adet tek kare standart görüntüler sistemin eğitilmesi amacıyla kullanıldı (J.Yazılımsal süreç adlı bölümde ayrıntılarıyla değinilmiştir.). Sistemin eğitimi sırasında karşılıklı olarak test edilerek iyileştirilmesi aşamasında 45 adet harmanlanmış video da kullanıldı. Standart plan temini için belirlenmiş bölgeler (segmentler) her bir kare için tanımlandıktan sonra akan video içerisinde tek ideal karenin çıktısı alınması yönünde yazılım algoritması eğitildi.

Yazılımın test edilmesi amacıyla yazılım eğitim aşaması dışında tutulan rastgele 10 adet bebekten elde edilen ortalama 1'er dakikalık (00:57-01:37 arası değişken) videolar rastgele kesildi. Her bir video içerisinde minimum 10'ar adet ideal standart plan karesinin bulunduğu 2 adet uzman pediatrik ortopedist gözlemci tarafından teyit edildi. Alınan 10 adet video üzerinden 6 adet kullanıcıya standart plan tespiti yapması istendi. Yazılıma sunulan 10 adet akan video içerisinde Standart Plan teminine uygun olarak tespit edilen en yüksek benzerlik ölçüsüne sahip 10'ar adet tek kare çıktısı alındı. Belirlenen kareler yazılımsal süreçte anlatıldığı gibi belirli benzerlik oranının altında kabul dışı tutuldu. Her kullanıcı için alınan bu tek kareler üzerinden yazılım ile insan kullanıcılar arasında doğruluk değerlendirmesi toplamda 100'er kare üzerinden yapıldı. 2 adet gözlemci tarafından doğruluk puanlaması yapılırken kullanıcıların standart plan alımı sırasında yaptıkları hatalar da not edildi.

B.Gereç ve Ortam

Kalça ultrasonografi (USG) uygulaması için ultrason cihazıyla beraber birkaç gereksinimin de çocuğun muayenesinden önce hazır bulundurulması gerekmektedir. Çocuğun lateral dekübit pozisyonunda yatmasını ve bu pozisyonu korumayı amaçlayan muayene masası yapılacak olan ultrasonun standardizasyonu ve kolay uygulanabilirliği açısından önemlidir. Tam lateral yatan bebeğin kalçasından koronal kesit görüntü alabilmek daha kolay olacağı için tüm uygulamalar bu masada yapıldı (Şekil-14). USG probunun doğru konumlandırılması da doğru koronal kesit alınması için elzem olup bu amaçla prob tutucu kullanılması da hataların önlenmesi açısından önemlidir. Kliniğimizde geleneksel olarak kullanılan cihazla beraber kullanılan prob tutucu bu araştırmada farklı bir prob kullanılmasından dolayı çalışma boyunca kullanılmadı.



Şekil-14: Kalça ultrason muayene masasında ultrason uygulamasının gösterimi

Bebeğin muayene hazırlanması işlemin daha kolay uygulanabilmesine olanak tanır. Bundan dolayı bebeğin muayene sırasında huzursuz olmaması gerekir. Ortamın uygun ısıda ve sessiz olması bebeğin huzursuz olmasını engellerken muayene masasında bebeğin uygun konumlandırılması bebeğin rahatlığı açısından göz önüne alınmalıdır. Bebek işlem sırasında huzursuzlandığı taktirde sakinleşmesi için biberonla beslenmesi veya emme refleksini tetikleyerek bebeği rahatlatacak emzik gibi araçlar oldukça yardımcı olacaktır. Bebeğin muayene sırasında sakinleşmemesi durumunda işleme devam edilmemelidir. Alınacak görüntülemeler her bir kalça için minimum 2 adet standart plan olarak belirlendiği için bebeğin huzursuz olması durumunda işleme devam etmek de zor olacaktır. Bebeğin anne tarafından rahatlatılması ve gerekiyorsa emzirilmesi ile işlem ikinci sefer denenebilir.

GKD için ultrason görüntülemesinde 5-10 mHz' lik lineer prob tercih edilmelidir. Frekans arttırıldığında yüzeysel dokular daha iyi gözlemlenirken frekans değeri düşürüldüğünde daha derin dokular inceleyebilir hale gelmektedir. Derinlik ayarı asetabulum en derin noktası ve iskiyumun görüldüğü en yüzeysel derinliğe göre ayarlanmalıdır. Kontrast ayarı ise ilyak kanat ve labrumun uygun ekojenitesinde yapılmalıdır. Labrumun uygun bir şekilde görüldüğü kontrast ayarında diğer anatomik yapılar görünür hale gelecektir. Alınacak görüntü sağ kalça direkt grafi imajı gibi projekte edilmesi açısından 90 derece döndürülüp ayna görüntüsü alınmalıdır. Tüm görüntülemelerde bu düzlem kullanılacağı için kullanılacak US cihazında bu işlemin yapılabilir olması gerekmektedir. Çalışmamız süresince yukarıda Graf tarafından tarif edilen uygun ekojenite ayarı ve uygun sağ kalça AP plan görüntü projeksiyonu kullanılmıştır.

Klinik pratiğimizde ultrason probu olarak 7 mHz lik lineer prob kullanılmaktadır. Clarius® L7 HD3 model el tipi ultrason probuyla (Şekil-15A) taşınabilir cihazlara bağlanarak ultrasonografik muayene yapılmakta olup muayene sürecinde birkaç aşamada kolaylık sağlamaktadır. Taşınabilir cihazlar üzerinden dijital ortamda alınan video ve görüntü örnekleri hem tekrarlanabilirliği arttırmakta hem de kayıt olanağı sağlamaktadır. Alınan görüntülemelerin bulut üzerinde (Şekil-15B) saklanması sayesinde GKD için taramaya alınan çocukların hepsinin görüntüleri arşivlenebilmektedir. Kliniğimize başvuran yenidoğanlarda yapılan görüntülemeler çalışma boyunca bu sistem üzerinden yapılmıştır. Geriye dönük video ve görüntülerin temini için bu sistem kullanılmıştır.



A

The image shows the Clarius cloud interface. At the top, there is a navigation bar with 'Clarius cloud' logo, 'My Institution', 'Review', 'Education', and 'Capa Ortapedi'. Below this, there are tabs for 'Scanners', 'Users', 'Exams', and 'Settings'. The main content area is titled 'Exams' and includes a search bar with filters for 'View Archive', 'Archive', 'View Exported Exams', 'Export', and 'PDF Reports'. There are also date filters for 'Before Date' and 'After Date', and a 'Keywords' search field. Below the search bar is a table with the following columns: Patient ID, Patient Name, Date of Birth, Gender, Exam Type, Exam Date, Upload Date, Images, Clinician, Scanner Used, and Status. The table contains 12 rows of data.

Patient ID	Patient Name	Date of Birth	Gender	Exam Type	Exam Date	Upload Date	Images	Clinician	Scanner Used	Status
-	Darılmaz, Mehmet salim	-	-	MSK	Nov. 12, 2023, 10:01 a.m.	Nov. 14, 2023, 8:14 p.m.	0/None	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Uploading
-	Şahin, Sare	-	-	MSK	Nov. 8, 2023, 11:15 a.m.	Nov. 8, 2023, 11:23 a.m.	10	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Tunçer, Menesa	-	-	MSK	Nov. 8, 2023, 10:57 a.m.	Nov. 8, 2023, 11:12 a.m.	8	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	-	-	-	MSK	Nov. 2, 2023, 5:56 p.m.	Nov. 3, 2023, 9:43 p.m.	3	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Polat, Tuana vera	July 16, 2023	Female	MSK	Oct. 25, 2023, 2:02 p.m.	Oct. 25, 2023, 2:22 p.m.	17	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Turhan, Aybars	-	Male	MSK	Oct. 19, 2023, 10:39 a.m.	Oct. 19, 2023, 10:50 a.m.	10	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Ali, Kerem	June 7, 2023	Male	MSK	Oct. 17, 2023, 2:50 p.m.	Oct. 17, 2023, 2:58 p.m.	5	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	-	-	-	MSK	Oct. 11, 2023, 3:46 p.m.	Oct. 11, 2023, 4:04 p.m.	3	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Zenya bingöl	April 27, 2023	-	MSK	Oct. 10, 2023, 2:29 p.m.	Oct. 17, 2023, 2:50 p.m.	13	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed
-	Eren yasuz yıldırım	June 7, 2023	Male	MSK	Oct. 6, 2023, 9:05 a.m.	Oct. 6, 2023, 9:15 a.m.	9	capaortapedi@icloud.com	L7HD052109A0607	Completed

B

Şekil-15: A) Çalışmamız boyunca görüntülemeleri yapmak ve kayıt altına almak için kullanılan Clarius® L7 HD3 model Lineer prob B) Clarius® bulut arşivi

C.Ultrason Uygulaması

Bebek muayene masasına öncelikle sağ taraftan başlanacak şekilde sağ lateral dekübit yatırılmalıdır. Ultrasonografiyi yaparken her seferinde aynı taraftan başlamak oluşabilecek karışıklıkları önlemek açısından önemlidir. Klinisyen bir eliyle bebeğin ekstremitelerini 30° fleksiyon, 5° iç rotasyonda sabitler, diğer eliyle probu kullanır. Uygun pozisyonda yatan bebeğe uygun makine ayarları yapıldıktan sonra sonografik muayene başlatılabilir. Önce büyük trokanter palpe edilir ve prob yere ve bebeğin gövdesine paralel olarak büyük trokanter üzerine yerleştirilir. Prob öne arkaya ilerletilerek kalça imajı elde edilir. Probu trokanter major hizasından öne ve arkaya hareket ettirerek asetabulumun en derin noktası tespit edilir.

Asetabulum en derin kemiksel nokta tespit sonrası ilyak kanat ekojenitesinin tam vertikalliğinin saptanması için prob ile rotasyon hareketleri yapılır. Uygun standart plan görüntü elde edildiği anda görüntü durdurulur. Görüntü kullanılan sisteme göre çıktı alınarak veya dijitalize sistem kaydı olarak yapılır. Bu işlem her kalça için en az iki kez tekrarlanmalıdır. Elde edilen görüntünün yeterli olduğuna karar verilirse ölçüm basamağına geçilebilir. Ölçüm kısmından sonra ultrason cetveli üzerinde uygun yerine değerler konularak tiplendirme yapıp muayene sona erdirilir.

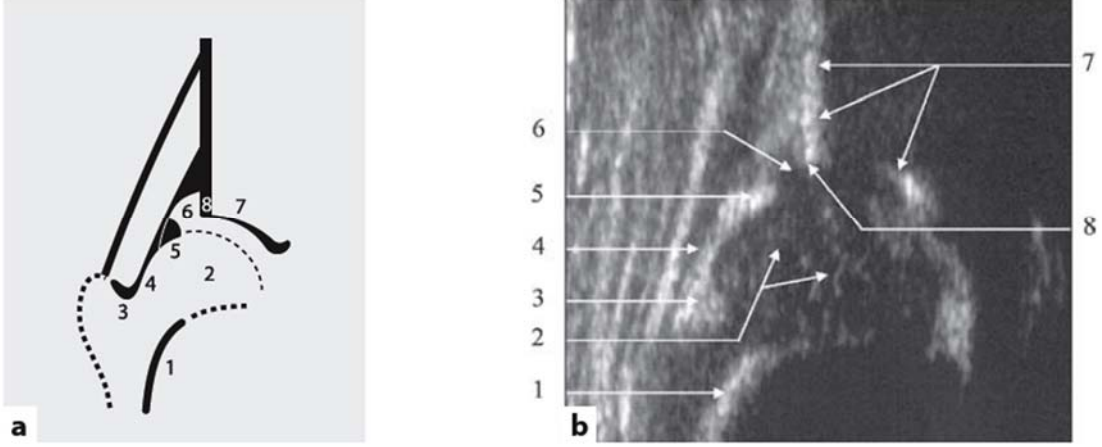
D.Standart Plan

Sonografik değerlendirmelerin oldukça kişiye bağlı olması nedeniyle nesnel değerlendirmenin gerçekleştirilebilmesi için belli başlı yapıtaşları belirlenmelidir. 1980 yılında Reinhard Graf tarafından ilk yayınlarında tanımlanan bu yapıtaşları Ortopedi ve Travmatoloji camiasında genel kabul gormekte ve “altın standart” olarak kabul edilmektedir. Yöntemin standardizasyonu nedeniyle güncelliğini halen korumaktadır. Nesnel değerlendirmenin yapılabilmesi için standart görüntüye gereksinim vardır.

Bir kalça ultrasonu değerlendirilmeden önce ultrasondaki anatomik yapılar metodolojik bir şekilde tanımlanmalıdır. Bu adım tamamlandıktan sonra, ultrason standart kesitsel düzlem kriterlerini karşılayıp karşılamadığını kontrol etmek gerekmektedir. Anatomik tanımlamalar her zaman kesitsel düzlem işaretlerini kontrol etmeden önce tamamlanmalıdır, asla tersi yapılmamalıdır. Tüm anatomik yapıların görünür olduğu standart plan üzerinden ölçüm yapılması en doğru sonucu verecektir.

Anatomik yapıların sıralamasının kontrolü aşağıda belirtilen 8 madde ile yapılır (şekil-8).

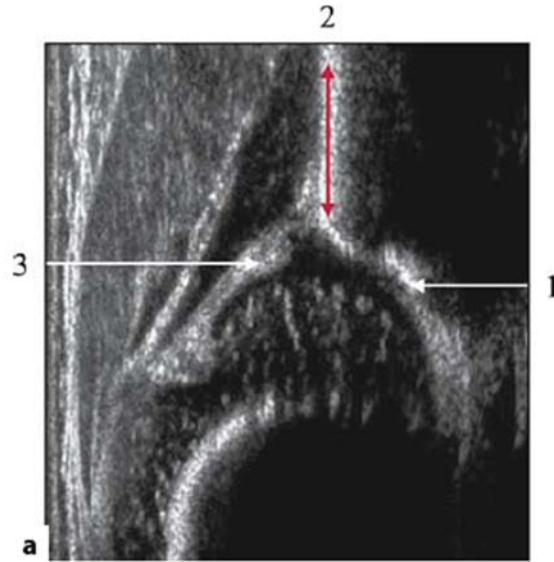
- 1- Kıkırdak-kemik geçiş bölgesi
- 2- Femur başı
- 3- Sinovyal kıvrım (asetabular labrum ile karıştırılmamalıdır)
- 4- Eklem kapsülü (intermusküler septum ile karışıklığı önlemek için)
- 5- Asetabular labrum
- 6- Asetabulumun hyalin kıkırdak çatısı
- 7- Asetabular çatının kemik bölümü
- 8- Kemik köşe tespiti (= asetabular çukurun i bükeyliğinin dış bükeyliğe döndüğü nokta).



Şekil-8: Kalça ultrasonografi görüntüsünün anatomik tanımlama sırası:1- Kıkırdak-kemik birleşim yeri, 2-Femoral baş, 3-Sinoviyal kıvrım, 4-Eklem kapsülü, 5-Asetabüler labrum, 6-Hiyalin kıkırdakla örtülü asetabular çatı, 7-Asetabüler çatının kemik bölümü, 8-Kemik köşe: iç büküklükten dış büküklüğe dönüş noktası.

(*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006*' dan alınmıştır.)

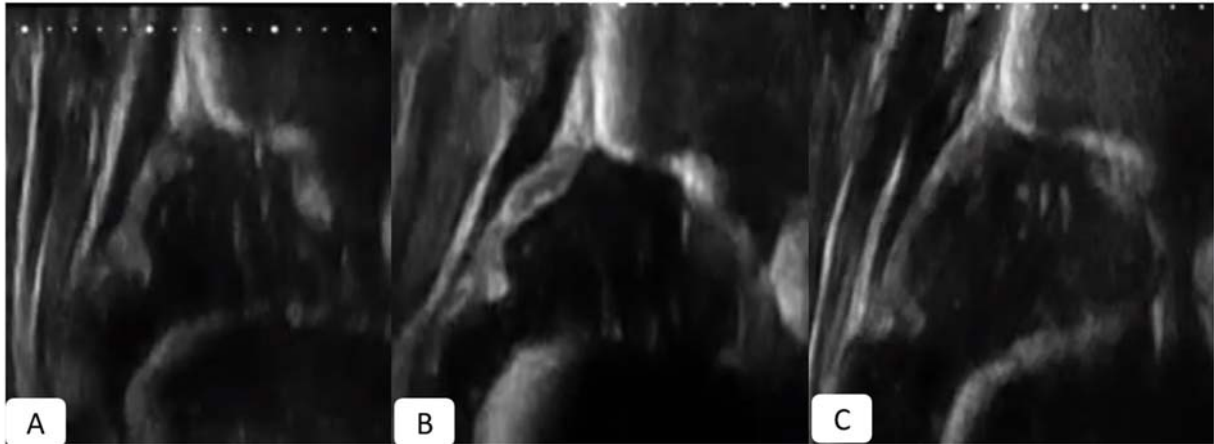
Standart düzlem kesitinin uygunluğunun değerlendirilmesi için anatomik değerlendirmenin tamamlandığı görüntü üzerinden 3 yapıtaşının ideallliği aranır. Bu üç yapıtaşı; asetabulumun en derin noktası, ilyak kanatın kesitsel alana dik hiperekojen gölgesi, asetabular labrum (Şekil-16)



Şekil-16: Standart Plan tanımlaması için 3 ana yapıtaşının görüntülenmesi: 1- asetabulumun en derin noktası, 2- ilyak kanatın tam vertikal olarak tespit edildiği standart plan, 3- asetabular labrum (*Hip Sonography, R. Graf, Springer, 2006*' dan alınmıştır.)

Son yıllarda yapılan çalışmalarda bu üç yapıya ek olarak “osteokondral plate” bulgusunun da gözetilmesi önerilmektedir. Graf metodunda anatomik kontrol sırasında önerilen 1.maddenin standart plan içerisinde belirtilmesi ile oluşabilecek aşırı tanıların önüne geçilebileceği öngörülmektedir(38). Bu yapıtaşların belirlenmesi için belirli bir sıra izlemek her ölçüm sırasında kolay uygulanabilirliği artırmaktadır. İlk olarak yapılması gereken asetabulumun en derin noktasının görünür olup olmadığını kontrol etmektir. Asetabulumun merkezinden geçmeyen bir görüntüde bu en derin nokta görünür olmayacaktır. Kesitsel düzlemin anteriordan veya posteriordan geçtiği planlarda en derin nokta tanımlaması yapılamamaktadır. Transdüseri öne veya arkaya eğerek (transdüseri ileri geri hareket ettirmeden), standart kesitin görünüşüne benzeyen ancak asetabulumun merkezinden geçmeyen bir ilyak silueti üretmek mümkün olabilir. Bu hatayı önlemek için, kesitsel düzlemde önce os iliumun pivot noktası olan asetabular en derin noktasının bulunduğundan emin olmak esastır. Asetabulumun en derin noktası tanımlandıktan sonra ilyak kemik dikliği ve labrumun kesitsel düzlem içinde görünebilir olduğu teyit edilir.

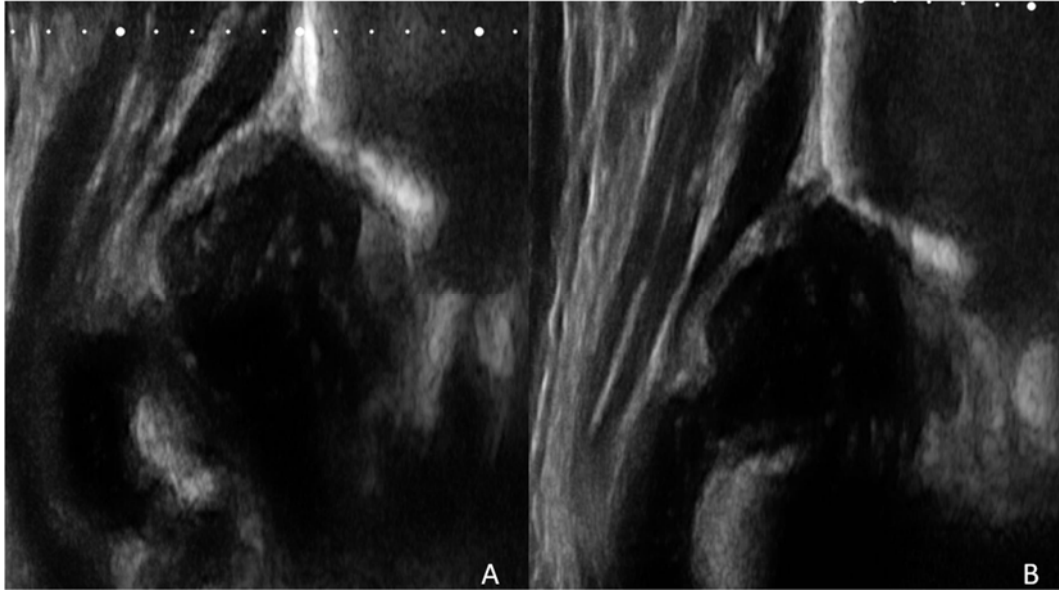
Ölçümsel hatalara neden olabilecek görüntülemeler genellikle standart plandan sapmaların görüldüğü anterior ve posterior kesitsel düzlemlerdir. Bu görüntülemeler transdüserin anterior ve posterior eğilmesi sonucunda görünür hale gelir. Anterior veya posterior kesitsel görüntülerin kullanım dışı kabul edilmesi gerekir. Graf metodunun tekrarlanabilirliğini ve güvenilirliği artıran standart (orta) kesitsel düzlemin değişmezliğidir (Şekil-17).



Şekil-17: Standart plan değerlendirmesi yaparken transdüserin anterior ve posterior eğilmesinden kaçınılmalıdır. Ölçüm yalnızca orta kesit kullanılarak yapılabilir. A- Anterior kesitsel plan, B- Standart plan (Orta kesit), C- Posterior kesitsel plan

(Görüntüler İstanbul Tıp Fakültesi arşivinden edinilmiştir.)

Ölçümsel hatanın en problemlisi biçimi kaudo-kranial eğim hastasıdır. Kranio-kaudal prob tutumunda asetabular en derin nokta gözlenemez hale geldiği için genellikle prob kontrolü yapıldıktan sonra hata gözlemci tarafından giderilir. Fakat hatanın kaudo-kranial eğim olarak uygulandığı durumda gözlemci yanlışlıkla en derin nokta, ilyak kanat dik konumu ve labrumu değerlendirdiğini düşünülebilir. Fakat bu görüntüde anatomik belirtiler arasından değerlendirilen osteokondral geçiş noktası kaybolmuş olur. Alınan görüntü yalancı çıkık veya displazi görüntüsü olup değerlendirme dışı tutulmalıdır. Bu yapılan hata sonucu elde edilen alfa değeri daha düşük olup displastik değerlendirilir. Aşırı tanı konulmasının nedenlerinden biri olarak kaudo-kranial hata gösterilmektedir. Bu hatanın önüne geçmek için standart plan öncesinde yapılmak zorunda olan anatomik yapıların sıralanması çözüm oluşturacaktır. Aynı kalçadan elde edilen iki farklı görüntüleme Şekil-18’de kaudo-kranial hata gösterilmiştir.



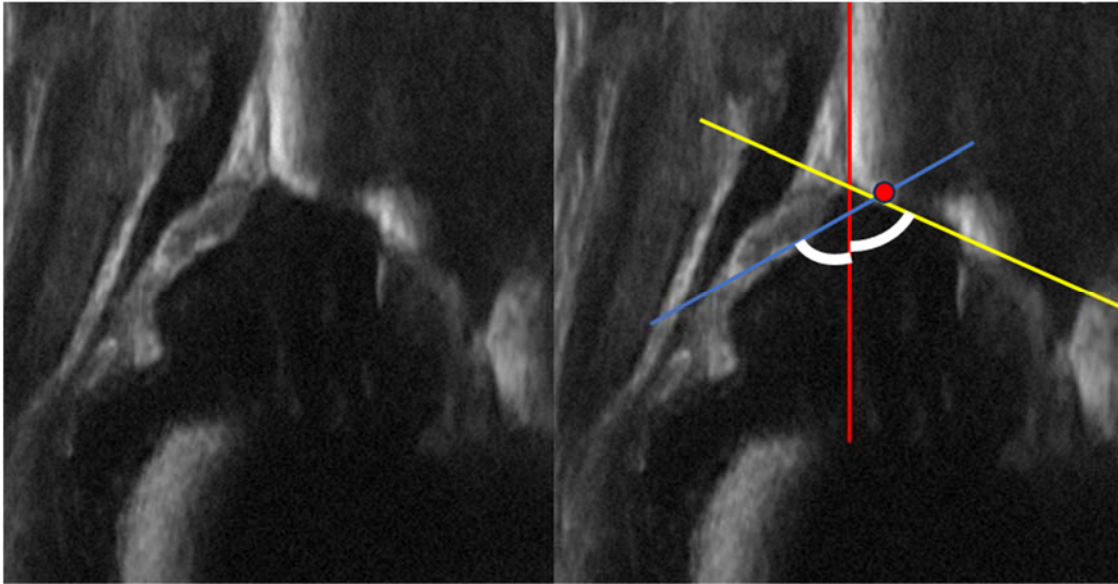
Şekil-18: A) Kaudal eğim ile alınmış kalça ultrason görüntüsü, B) Aynı kalçanın kaudal eğim hastası düzeltildikten sonraki görüntüsü.

(Görüntüler İstanbul Tıp Fakültesi arşivinden edinilmiştir.)

Standart plan tanımlanmasında birkaç tip hata yukarıdaki şekillerde gösterilmiş olup hataların nedenleri belirtilmiştir. Bu yapılan hatalar sonucu alınan görüntülerin değerlendirmelerinde genellikle ölçümsel olarak alfa değeri olduğundan az çıkacaktır. Bu ölçüm sonucunda da displastik olarak değerlendirilen kalçalar gereksiz tedavi ile karşılaşabilmektedirler(39). Nadiren de olsa ölçümsel hatalardan dolayı alfa değerleri olduğundan fazla ölçülüp eksik tedaviler yapılmaktadır.

E.Ölçüm Tekniği ve tiplendirme

Ultrasonografik değerlendirmenin ikinci basamağında alınan görüntü üzerinden belirlenen noktaları birleştiren ölçüm çizgileri kullanılır. Bu ölçüm çizgilerinin arasında kalan açı değerleri tiplendirme için kullanılır. Ölçüm için kullanılacak olan çizgiler; ilyak kanat boyunca dik indirilen temel çizgi, asetabular kemiksel çatı boyunca çekilen çizgi, kırkırdak çatıyı gösteren tanjansiyel çizgi. Alfa açısı temel çizgi ve kemik çatı arasında kalan açıyı gösterirken beta açısı temel çizgi ile tanjansiyel çizgi arasında kalan açı alınarak hesaplanır (Şekil-19). Alfa ve beta açıları belirlendikten sonra ultrasonografi cetvelinde değerler yerlerine konularak ultrasonografik graf tiplendirmesi yapılır (Şekil-11).

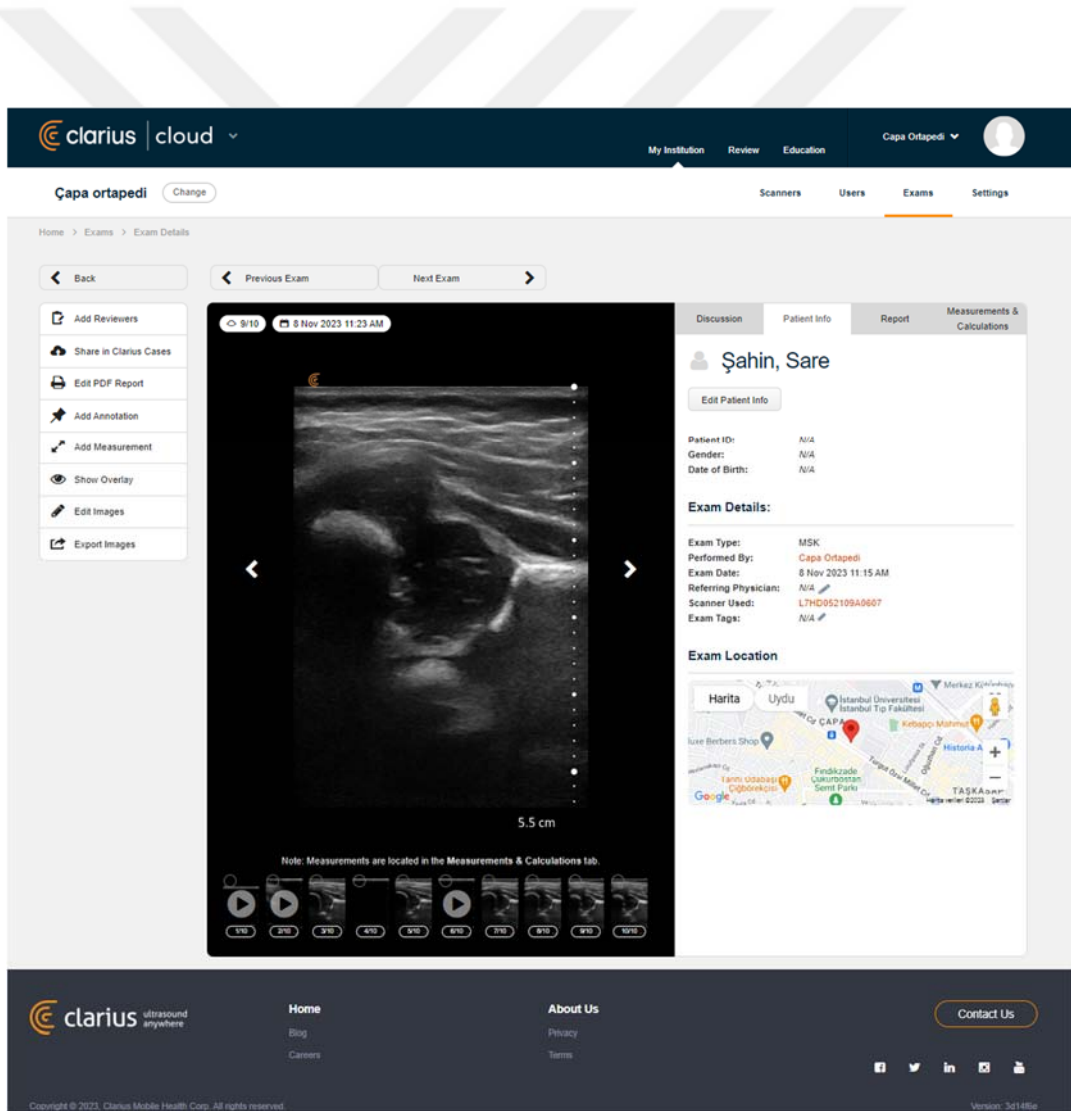


Şekil-19: Alınan standart plan görüntüde çizilen 3 çizgi arasında kalan değerler ile alfa ve beta açısı tanımlanır. Kırmızı çizgi; ilyak kanat boyunca indirilen temel çizgiyi göstermektedir. Sarı çizgi; Asetabular kemik çatı boyunca çizilen, asetabulumun en derin noktasını asetabular geçiş noktasına birleştiren asetabular kemik çatı çizgisini göstermektedir. Mavi çizgi; Labrum ortasında asetabular geçiş noktasını birleştiren tanjansiyel çizgiyi göstermektedir. Dönüş noktası kırmızı yuvarlak ile gösterilmiştir. Alfa açısı: kırmızı ve sarı çizgi arasındaki açı. Beta açısı: kırmızı ve mavi çizgi arasındaki açı

(Görüntüler İstanbul Tıp Fakültesi arşivinden edinilmiştir.)

F.Dokümantasyon

Kliniğimizde yapılan bu çalışmada verilerin temini ve saklanması amacıyla Clarius L7 HD3 Lineer 7 mHz el tipi ultrason probu kullanılmıştır. Bu prob taşınabilir elektronik cihazlar ile çalışıp verilerin tekrar kullanılabilirliği açısından depolama kolaylığını bulut arayüzü ile sağlamaktadır. Kalça ultrasonu yapılan yenidoğanların demografik verileri de dahil olmak üzere alınan video ve değerlendirilen tek kare standart plan görüntüleri arşivlenmektedir. Arşivlenen video görüntülemeleri üzerinden standart plan görüntülerin tekrar temini ve değerlendirmesi geriye dönük de yapılabilmektedir. Görüntülemeler www.cloud.clarius.com adresi üzerinde kliniğimize özel olarak tanımlanmış bulut hesabında tutulup çalışmanın gerekli aşamalarında kullanılmak üzere arşivlenmiştir (Şekil-20)



Şekil-20: Clarius bulut arşivinden bir hasta kaydı örneği.

G.Video Analiz ve Standart Plan

Çalışmamızda 2023 yılı boyunca yapılmış olan kalça ultrason görüntülemelerinden çalışmamız kapsamında dahil edilen 110 bebeğin arşivlenmiş kalça ultrason videoları bulut sistemi üzerinden toplanmıştır. Alınan video görüntüleri graf metoduna uygun olacak şekilde Microsoft Clipchamp® programı ile tekrar oryante edilip (sağ kalça AP görüntü imajı) standart plan teminine uygun hale getirildi. Alınan görüntülemeler üzerinden standart plan temini yapılabilecek yerlerin izole edilmesi amacıyla videolar kısaltılıp kesildi. 3 saat 30 dakikalık toplam süre 2 saat 1 dakikaya düşürüldü (Şekil-21). 110 adet bebekten elde edilen video görüntülemeleri harmanlanarak kolay uygulanabilir hale gelmesi amacıyla 45 adet rastgele videoya bölündü. 45 video üzerinden totalde 552 adet tek kare standart plan görüntülerin çıkarımı uzman görüşü yardımı ile yapıldı.

Standart kare içeren kalça ultrason videoları alınırken ve standart plan içeren tek kareler video üzerinden belirlenirken daima uzman gözetimi yardımı alındı. Tüm süreç boyunca videolar içerisinden standart plan temini aşamasında birkaç kontrol noktası belirlendi. Standart kare görüntülerinin tanımlanması ve video içerisinden çıkarılması aşamasında bu kontrollerde aşağıda belirtilen faktörler gözetildi.

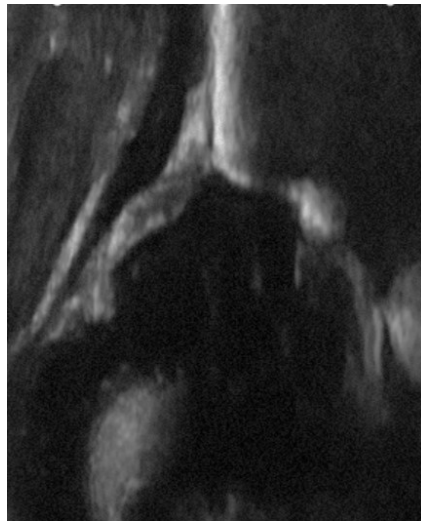


Şekil-21: Microsoft Clipchamp® programı üzerinden video biçimlendirme ve standart plan çıkarımı

Standart plan temini sırasında izlenen yöntemde gözetilen faktörler:

- 1- Videolar içerisinde alınan görüntülerde kare-kare değerlendirme sırasında ideal görüntü yakalandığı sırada daha yalın bir görüntü temini amacıyla fotoğraf içerisindeki gereksiz tüm ayrıntıları ekarte etmek için uygun olan en küçük görüntü alındı (Şekil-22).
- 2- Alınan görüntülerin benzerlik oranını en aza indirmek amacıyla aynı video içerisinde alınan görüntüler arasında minimum 1snlik fark gözetildi.
- 3- Alınan görüntülerin benzerlik oranını en aza indirmek amacıyla aynı video içerisinde gözlemcinin hareketsiz kaldığı ve aynı karenin süregelen devam ettiği durumlarda ek standart plan karesi alınmadı.
- 4- Alınan standart plan kareleri üzerinden Graf metoduna uygun olacak şekilde değerlendirme yapıp uygun olmayan görüntüler çıkarıldı. Alınan karelerde anatomik yapıların sırayla teyidi ve standart plan için olmazsa olmaz 3 yapı taşının idealliği arandı. (Bunlar bir önceki maddelerde ayrıntılı açıklanmıştır.)
- 5- Alınan kareler içerisinde 4.maddede geçen herhangi bir yapıtaşı eksikliğinde görüntü çalışma dışı edildi.
- 6- Alınan karelerin videolarda hangi kareye denk geldiği (örneğin 45.video, 00.02sn, 58.kare) belirtildi.

45 video ve 552 tek kare görüntü olarak belirlenen eğitim kümesi yazılım aşaması için kullanıldı.

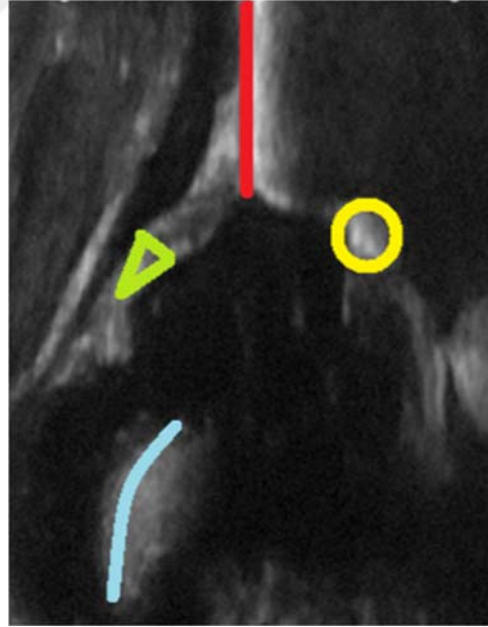


Şekil-22: Alınan standart plan karelerinden bir örnek. Yazılımsal tanımlama değerini artırmak için tüm ayrıntıları içeren olası en küçük kareler seçildi.

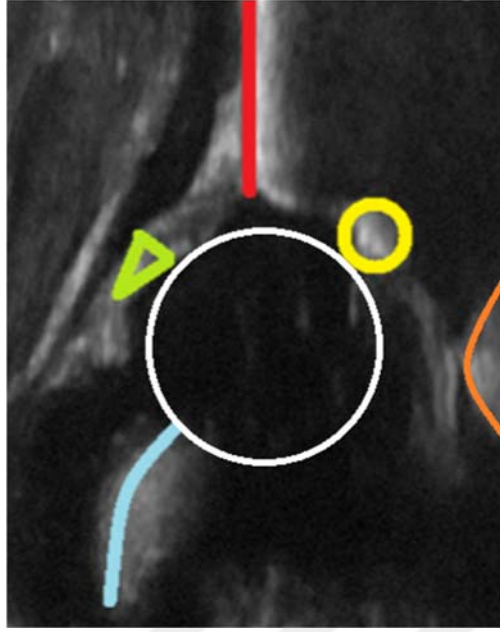
H.Segmentasyon

Alınan tek kare görüntüler yazılımsal süreçte yapıtaşların düzgün analizini güçlendirmek için segmentasyon ile yazılım ekibine sunuldu. Segmentasyonların hepsi uzman gözetimi altında yapıldı. Segmentasyonda ultrasonografik değerlendirme sırasında aranan yapıtaşları sırasıyla görüntülemeler üzerinden farklı renklerle işaretlenerek belirtildi. Yaptığımız bu çalışmada segmentasyon aşamasında 4 adet yapıtaşı belirtildi. Bu yapıtaşları; ilyak kanatın plana dik olması, asetabular en derin noktanın görünür olması, labrumun görünür olması, kondro-osseoz geçişin bulunması olarak belirlendi (Şekil-23). Bunların herhangi birinin olmaması durumunda görüntüler kabul edilmedi.

Ön değerlendirmeler yapılırken sistemin başarı oranını artırabilmek için ek yapıtaşlarının da belirlenmesi yazılımsal süreçte bir gereksinim olarak karşımıza çıktı. Bu nedenle femur başı ve os iskiüm da ayrıca bu yapıtaşları arasına eklendi. Sistemin deneme sürecinde ilk 4 madde olmazsa olmaz olarak belirtilirken ek 2 madde sistemin doğruluğunu desteklemek için kullanıldı (Şekil-24).



Şekil-23: Yazılımsal tanıtma amaçlı segmentasyon örneği. Kırmızı çizgi: İlyak kanat, Sarı yuvarlak: Asetabular en derin nokta, Yeşil üçgen: labrum, Mavi Eğri: Kondro-osseoz geçiş



Şekil-24: Şekil-23'e ek olarak, Beyaz yuvarlak: Femur başı, Turuncu eğri: Os İskium

J.Yazılımsal Süreç

Bu çalışmada makine öğrenmesi teknikleri kullanılarak, 110 bebekten elde edilen 552 adet standart plan tespitinde uygun bulunan video karesi bir derin öğrenme sistemine öğretilmek suretiyle tanıtılmıştır. Doğru ölçüm karelerinin seçilmesinde *single shot multibox detector* (SSD) tekniği kullanılmıştır. Çerçevelerin doğru yerleştirilerek ölçüm alınabilecek karelerin tespitinde SSD algoritmasıyla beraber doğruluğu artırmak amacıyla *non maximum suppression* (NMS) tekniği de kullanılmıştır.

SSD, iki bileşenden oluşur: bir *backbone* model ve *SSD head*. *Backbone* model genellikle önceden eğitilmiş bir görüntü sınıflandırma ağıdır ve özellik çıkarıcı olarak kullanılır. İlk adım, *MobileNet* gibi bir özellik çıkarıcıyı kullanarak giriş görüntüsünden anlamsal özellikleri çıkarmaktır. *MobileNet*, düşük hesaplama maliyetiyle özellik çıkarabilen bir mimariye sahiptir. Bu özellikler, görüntünün içindeki farklı nesnelerin belirli özelliklerini temsil eder. *MobileNet*'in özellik çıkarıcılarından elde edilen özellikler, özellik haritaları olarak adlandırılan matrislerde temsil edilir. Bu haritalar, görüntünün farklı özelliklerini ve konumlarını içerir. SSD, bu özellik haritalarını kullanarak nesnelerin sınırlayıcı kutularını ve sınıflarını tespit eder. *SSD head*, özellik haritalarını giriş olarak bir veya daha fazla

konvolüsyon katmanı kullanır. Bu katmanlar, farklı ölçeklerde ve konumlarda nesne tespiti yapmak için tasarlanmıştır.

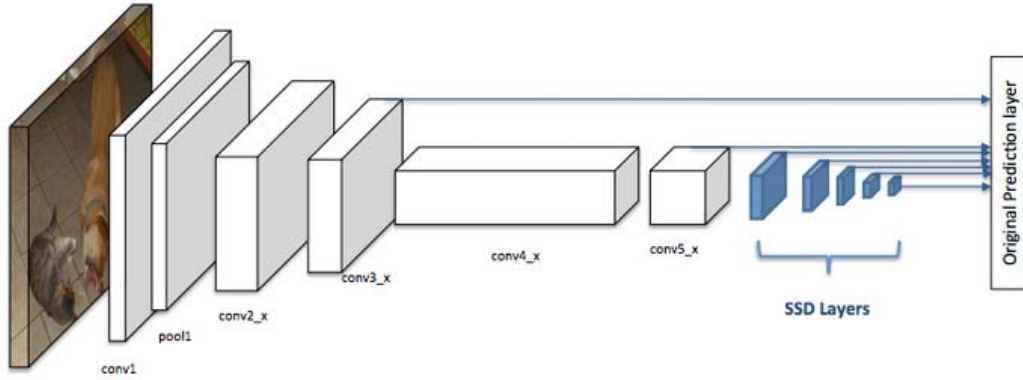
Geleneksel nesne tespit sistemleri, özellikle tıbbi görüntüleme, iki aşamalı bir süreç izler. Bu adımlar potansiyel nesne adaylarının belirlenmesi ve bu adayların sınıflandırılması adımlarıdır. Ancak bu geleneksel yöntemler, özellikle gerçek zamanlı uygulamalar ve hızlı tanı gerektiren tıbbi durumlar için yetersiz kalabilir. Burada SSD tekniği kullanışlı bir yöntem sunar. SSD, nesne tespiti sürecini tek bir ağ geçişi içinde birleştirerek hem hızlı hem de doğru sonuçlar sağlar. SSD' nin temelinde, güçlü özellik çıkarım yeteneklerine sahip bir evrişimli sinir ağı (CNN) bulunur. Tipik olarak, bu temel ağ önceden eğitilmiş bir modeldir, SSD'nin yenilikçi yanlarından biri, temel ağın son katmanlarını çıkartıp yerine birden fazla özellik haritası elde eden ek katmanlar eklemesidir.

Bu ek katmanlar, ultrason görüntülerinde tanımlanmış standart plan tespiti gibi spesifik özellikler barındıran nesnelere tespit etmek için çeşitli ölçek ve boyutlardaki videolar içerisinden görüntü yakalayabilir. SSD, her özellik haritası noktasında çeşitli şekil ve boyutlardaki ankraj kutularını (*anchor boxes*) yerleştirerek çalışır. Bu model, her bir ankraj kutusu için iki tür tahmin yapar. Birincisi hangi sınıfa ait olduğu ve ikinci olarak da lokalizasyon yani sınırlayıcı kutunun konumudur. Standart plan tespitinde; SSD modeli, ultrason görüntülerindeki ilgili anatomik yapıları doğru bir şekilde sınıflandırabilir ve video içerisindeki konumunu lokalize edebilir.

Non-maximum suppression (NMS) tekniği, SSD gibi derin öğrenme tabanlı nesne tespiti modellerinde kritik bir rol oynar. Bu teknik, bir görüntüde tespit edilen nesnelere için oluşturulan birden fazla sınırlayıcı kutu içerisinden en doğru ve güvenilir olanları seçmek için kullanılır. SSD modeli, bir görüntü üzerinde çok sayıda sınırlayıcı kutu önerir. Her bir kutu, bir nesnenin konumu ve sınıfı hakkında bilgi taşır ve bu kutular farklı sınıflandırma skorlarına sahiptir. NMS, bu kutular arasından yüksek sınıflandırma skorlarına sahip olanları ve birbirleriyle minimum örtüşmeleri seçer. Bu sayede, aynı nesneyi temsil eden fazlalıkların ve yanlış pozitiflerin azaltılmasına yardımcı olur.

Diğer yandan, MobileNet mimarisi, derin öğrenme tabanlı görüntü işleme ve nesne tespiti uygulamaları için özel olarak tasarlanmıştır. Hafif yapısıyla dikkat çeken bu *Convolutional Neural Network* (CNN), özellikle mobil cihazlar ve kaynak kısıtlı platformlar için uygundur. MobileNet, geleneksel CNN mimarilerine kıyasla daha az hesaplama gücü ve

daha düşük parametre sayısı gerektirerek yüksek performans sunar. Bu mimari, derinlikle ayrılabilir konvolüsyonlar gibi yenilikçi teknikleri kullanarak, modelin hem boyutunu hem de işlem yükünü azaltır. Bu sayede, daha hızlı ve verimli bir şekilde çalışırken, yine de yüksek doğruluk oranları elde edebilir. MobileNet'in bu özellikleri, özellikle gerçek zamanlı görüntü işleme ve nesne tespiti uygulamalarında, kaynak kısıtlı ortamlarda bile etkili çözümler sunar. Mimarini genel yapısı Şekil-25'te gösterilmiştir.



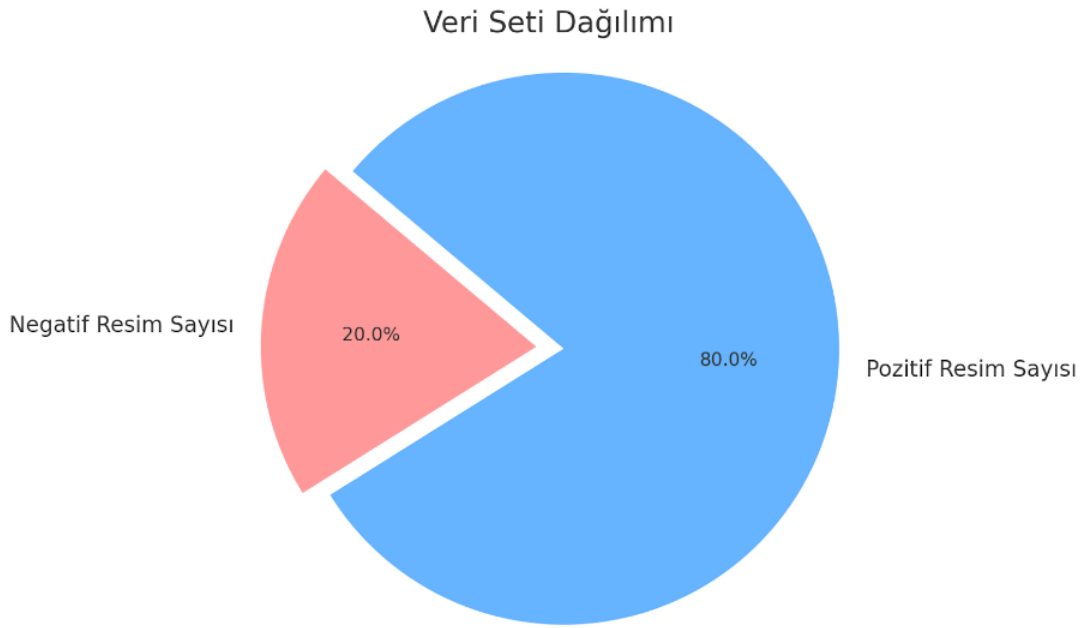
Şekil-25: SSD MobileNet Model Mimarisi

MobileNet'in temel bileşeni, derinlikel ayrılabilir konvolüsyonlardır (İng., depthwise separable convolutions). Bu teknik, standart konvolüsyon işlemi iki aşamaya ayırır, bunlar derinlikel konvolüsyon ve noktasal konvolüsyondur. Derinlikel konvolüsyon, her bir giriş kanalı için ayrı filtreler kullanarak özellik haritalarını oluşturur. Noktasal konvolüsyon ise, bu özellik haritalarının kanallarını birleştirerek daha kapsamlı bir özellik seti üretir. Bu yaklaşım, geleneksel konvolüsyonlara göre önemli ölçüde daha az parametre ve hesaplama gerektirir.

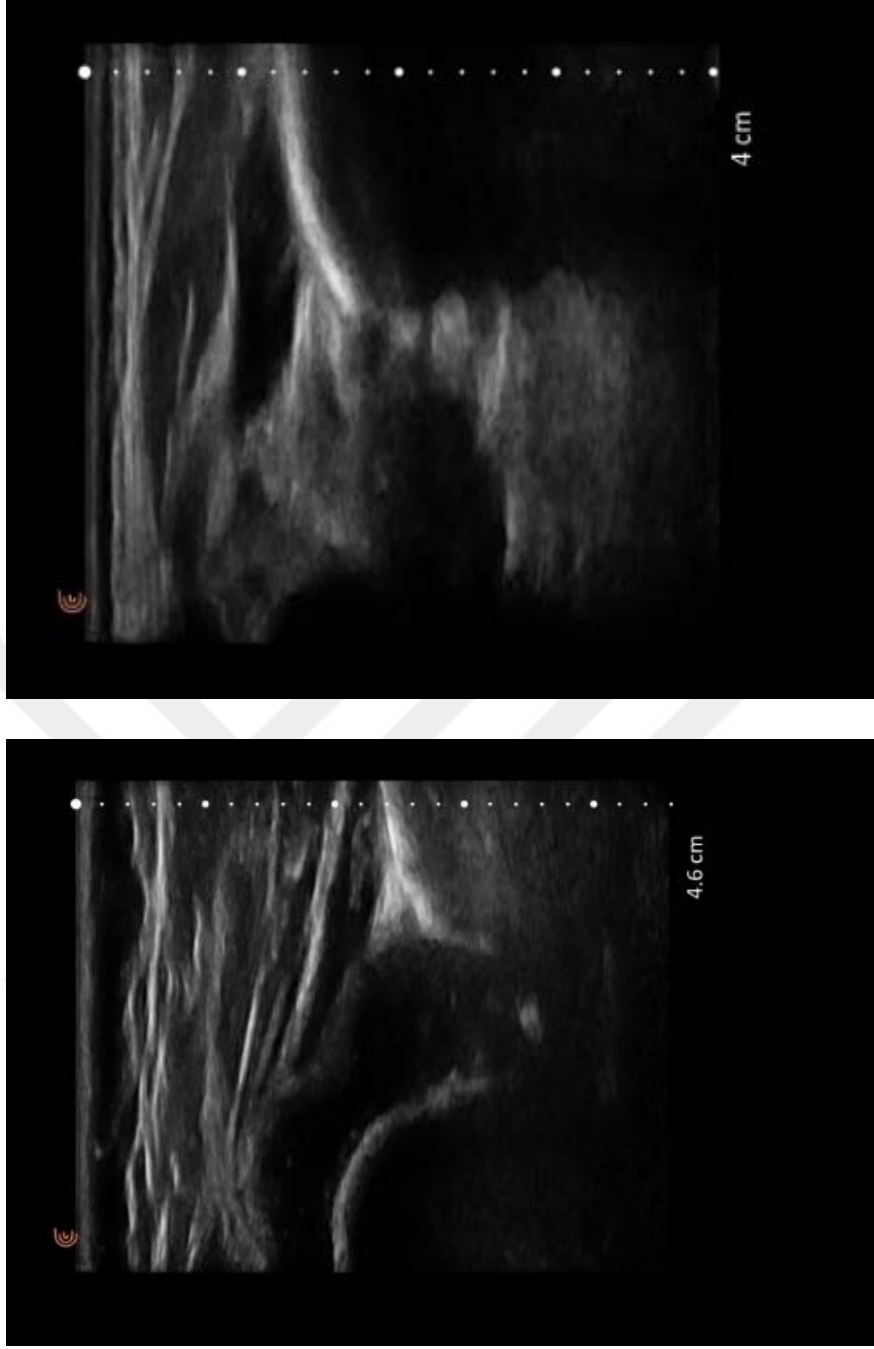
SSD algoritmasında MobileNet'in kullanılması, hız ve doğruluğu dengeler. MobileNet, SSD'nin temel ağı olarak kullanıldığında, model hem hızlı hem de doğru nesne tespiti yapabilir. Bu entegrasyon, özellikle gerçek zamanlı uygulamalar ve kaynak kısıtlı cihazlar için idealdir. SSD mimarisinin esnekliği, özelleştirilmiş uygulamalar için transfer öğrenme yaklaşımlarını kolaylaştırır.

Yaptığımız bu çalışmada, "ssd_mobilenet_v1_coco_2018_01_28" modeli, ultrason görüntüleri üzerinde çalışacak şekilde uyarlanmıştır. Bu süreç, MobileNet mimarisi kullanılarak önceden eğitilmiş modelin orijinal ağırlıklarını, spesifik ultrason veri setleri üzerinde yeniden eğiterek gerçekleştirilmiştir. Bu yaklaşım, modelin ultrason görüntülerindeki nesnelere tanıma yeteneğini artırır ve daha spesifik tespitler yapmasını sağlar.

Bu özelleştirme sürecinde, SSD algoritmasının "*hard-negative mining*" özelliği önemli bir rol oynar. *Hard-negative mining*, modelin yanlış pozitifleri azaltarak performansını artırmak için kullanılır. Model, olumsuz örneklerin (negatiflerin) bir kısmını, özellikle sınıflandırma konusunda zorlanılanları yoğun bir şekilde kullanarak eğitilir. Bu yöntem, modelin gerçek negatifleri yanlış pozitiflerden daha etkili bir şekilde ayırt etmesini sağlar, böylece ultrason görüntülerindeki nesne tespiti hassasiyeti artırılır. Veri setinin dağılımı Şekil-26' da; tespit edilen ultrason görüntüsü ve negatif resimlere örnekler Şekil-27'de gösterilmiştir.

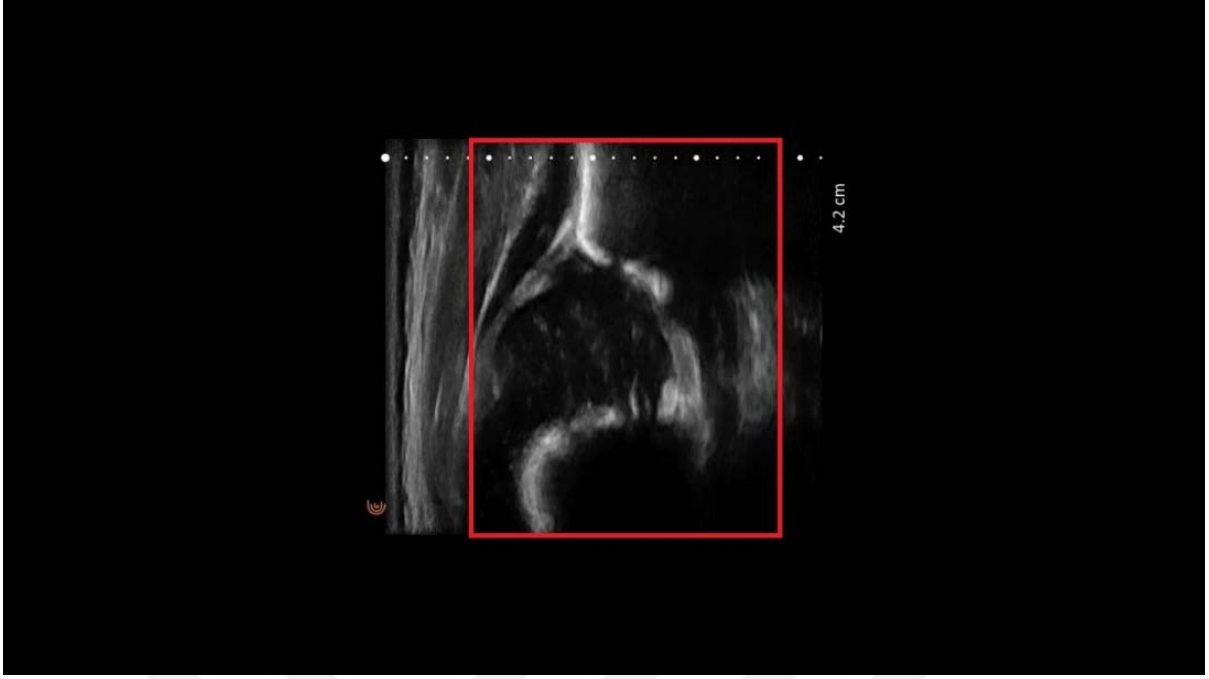


Şekil-26: SSD algoritmasına beslenen veri seti dağılımı. 552 adet referans kare (%80), 138 adet negatif kare (%20) sistem eğitimi için kullanıldı.



Şekil-27: Veri setinden bazı negatif örnekler

Eğitim sürecinin tamamlanmasının ardından, modelin performansını değerlendirmek amacıyla, önceden ayrılmış olan test videoları algoritmaya sunulmuştur. Bu videolardan alınan görüntüler, nesne tespiti yapılması için kullanılmıştır. Algoritmanın bu süreçte lokalizasyonunu ve sınıfını başarıyla tespit ettiği ve örnek olarak seçtiği resimlerden biri, Şekil-28’de gösterilmiştir.



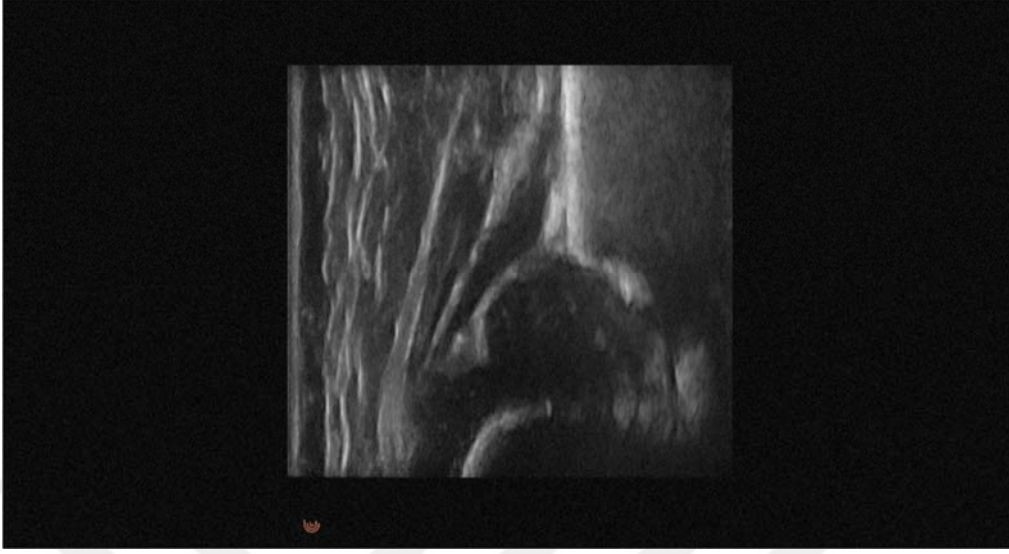
Şekil-28: Algoritma nesne tespit çıktısı

Yazılımın doğruluk oranlarının ön testi ve sistemin eğitiminin artırılması için 45 adet önceden harmanlanmış video kullanıldı. Bu videolar içerisinde hazırlanan referans kareler ile eğitim yapıldıktan sonra her bir video için o videoda bulunmayan referans kareler ile eğitim yapıldıktan sonra sistem çalıştırıldı. Ön değerlendirmemizde 45 video boyunca doğruluk oranları geri besleme amacıyla sisteme negatif veya pozitif referans kareler olarak kullanıldı. Sisteme 552 adet referans kare tanıtılması bu aşamada etiketlemeler ile yapıldı.

Yazılımsal sistemin doğruluğunun değerlendirilmesiyle beraber yazılımın eğitimi sırasında uygun standart plan içermeyen videolardaki performansını test etmek için ön deneme planlandı. Toplamda 5 adet 20' şer saniyelik video bu amaçla hazırlandı. 1 adet hiç standart plan içermeyen video ve 4 adet ancak birkaç karelik standart plan bulunan videolar hazırlandı.

Uygun benzerlik oranı gözetilerek, videolar içerisinde standart plan tespiti için program çalıştırıldığında 1 adet standart plan içermeyen videodan hiçbir kare önerisi görülmedi. Ardından 4 adet içerisinde birkaç karelik standart plan içeren videodan yüksek benzerlik oranı gözetilerek çalıştırılan programdan 1.videodan 3 adet, 2.videodan 5 adet, 3.videodan 8 adet, 4.videodan 6 adet standart plan önerisi bulunan çıktı alındı. Toplamda bu 22 karenin de

doğruluk oranı %100 olarak gözlemciler tarafından onaylandı. Bu süreçte yazılım tarafından çıktı alınan karelerden bir örnek Şekil-29' da gösterilmiştir.



Şekil-29: Ön deneme sürecinde algoritmanın önerdiği çıktı

Çalışmanın bu basamağında yazılımsal süreçte spesifitenin gözden geçirilmesi yapılmış olup programın yüksek benzerlik oranında çalıştırılması durumunda spesifitenin arttığı ve standart plan tespitinde hassas bir şekilde uygun olmayan görüntüler içerisinde uygun standart plan yakaladığı gösterilmiştir. Ayrıca bu aşamada gözlemlerimize göre referans karelerin eğitim sürecinde kullanılmasının yanında negatif karelerin de kullanılması yazılımın doğruluk oranını arttırmıştır. Bu aşamada kullanılan video örneklerinde her bir kare için manuel olarak etiketleme yapılmış olup toplamda 1 dakika 40 saniye boyunca her bir kare referans veya negatif kare olarak etiketlendi. Bir önceki basamakta yapılan referans kareleri etiketlemenin yanında negatif karelerinde eğitim süresinde belirlenmesi doğruluk oranını arttırmıştır. Fakat bu aşamada eğitim süresinde çok fazla negatif kare kullanılması sistemin aşırı öğrenmesine sebep olup akan video içerisinde kare çıktısının azalmasına sebep olmuştur. Yazılım çalıştırıldığında akan video içerisinde önerilen karelerde %100 lük bir doğrulukla öneri belirlense de referans karelerin de gözden kaçırılmasına sebep olabilmektedir. Bu sebeple toplamda negatif veri seti %20, pozitif veri seti %80 oranında geri besleme için kullanıldı.

K.Deneme

Çalışmanın bu basamağında oluşturulan yazılımın doğruluğunun test edilmesi amaçlandı. Yazılımın test edilmesi amacıyla yazılım eğitim aşaması dışında tutulan rastgele 10

adet bebekten elde edilen ortalama 1'er dakikalık (00:57-01:37 arası değişken) videolar rastgele kesildi. Alınan 10 adet video üzerinden 6 adet kullanıcıya standart plan tespiti yapması istendi.

6 adet kullanıcının dördü kliniğimiz bünyesinde eğitimsel süreci devam eden asistan hekimlerden oluşturuldu. 6 adet kullanıcının değerlendirmelerinin birbirinden farklı olması için farklı kıdem yıllarından seçildi. Seçilen asistan hekimlerin kıdem yılları 1,2,3,4. kıdem yılları ve uzmanlığını tamamlamış 5.yıl hekimler olarak belirlendi. Tüm asistan hekimler klinik bünyesinde kalça ultrason eğitimini tamamlamış aktif olarak yenidoğan kalça muayenesi ve kalça ultrasonunu klinik pratiklerinde yapmakta olan hekimlerden seçildi. Ayrıca ortopedi asistan ve uzmanları yanında 1 adet klinik pratiğinde kalça ultrasonografik değerlendirmeyi rutin olarak yapan radyolog hekim de değerlendirme amacıyla çalışmaya dahil edildi.

Altı adet insan kullanıcı ve yazılıma sunulan 10 adet video üzerinden standart plan teminine uygun olarak tespit edilen 10'ar adet tek kare çıktısı istendi. Toplamda 7 adet kullanıcının (6 insan, 1 yazılım) aynı 10 deneme videosu üzerinden 100'er karelik tek karelik standart plan çıktıları .jpg formatında kaydedilip klasörlendi.

L.Değerlendirme

Her bir kullanıcı tarafından belirlenen karelerin doğruluğunun değerlendirilmesi 2 pediatrik ortopedist tarafından yapıldı. Bu aşamada yanlışlığı ortadan kaldırmak amacıyla değerlendirmelerin yapılması için tek kare görüntüler 2 adet uzman görüşüne rastgele sunuldu. Değerlendirici hangi kullanıcıyı değerlendirdiğini süreç boyunca bilmeden değerlendirmelerde bulundu.

Doğruluk değerlendirmesi her bir kullanıcının belirttiği 100'er adet görüntü üzerinden yapıldı. Standart planın uygunluğunun değerlendirildiği bu aşamada ikili sistem olarak değerlendirme yapıldı. Standart planın tüm yapıtaşlarının bulunduğu kareler 1, herhangi birinin eksik olduğu kareler ise 0 olarak değerlendirildi. Kullanıcıların 100 üzerinden aldığı puanlar ve kötü karelerdeki yapılan hatalar not edildi. Standart plan değerlendirmesinde 3 adet yapıtaşının hangisinin eksik veya yanlış olarak tespit edildiği de ayrıca belirtildi.

M.İstatistiksel Analiz

İstatistiksel analizler için NCSS (Number Cruncher Statistical System) 2007 (Kaysville, Utah, USA) programı kullanıldı. Çalışma verilerinin raporlanmasında tanımlayıcı istatistiksel metodlar (frekans ve yüzde) kullanıldı. Nitel değişkenlerin analizinde ikili uyumlar için Cohen'in kappa katsayısı kullanıldı. Cohen kappa istatistiği için anlamlılık değerleri Tablo-3'te gösterilmiştir. İstatistiksel anlamlılık $p < 0,05$ olarak kabul edildi.

Kappa	Yorum
< 0	Hiç uyuşma olmaması
0.00 — 0.20	Önemsiz uyuşma olması (poor)
0.21 — 0.40	Düşük düzeyde uyuşma olması (fair)
0.41 — 0.60	Orta derecede uyuşma olması (moderate)
0.61 — 0.80	Önemli derecede uyuşma olması (good)
0.81 — 1.00	Neredeyse mükemmel uyuşma olması (very good)

Tablo-3: Cohen K analizi sonuç yorumu

IV.BULGULAR

Çalışma 2023 yılı içerisinde kliniğimize yönlendirilen 110 yenidoğandan elde edilen kalça ultrason video verileri ve bu videolardan elde edilen 552 adet tek kare standart plan üzerinden eğitilen bilgisayar yardımlı sistem ile yapılmıştır. Tümü Graf Tip 1 ve 2 kalçalardan oluşan görüntülerin klinik korelasyonu için eğitilen bu yazılımın 10 adet video üzerinden test amacıyla 6 doktor ile değerlendirmesi yapılmıştır. 2 adet alanında uzman gözlemci ile doğruluk oranları, yapılan hatalar ve korelasyonlar değerlendirilmiştir. TFY, FO, MCB, MŞ, BY kıdem sırasına göre 5,4,3,2.1 yıl ortopedi asistanlarını göstermekte olup SM radyoloji uzmanını temsil etmektedir. YZ kısaltması da yazılımı temsil amacıyla kullanılmıştır.

		Kabul Edilen	Kabul Edilmeyen (Hata)			
		n (%)	İlyak Kanat	Lower Limb	Labrum	Artefakt Hatası
			n (%)	n (%)	n (%)	n (%)
Gözlemci I	TFY	86 (%86,0)	8 (%8,0)	5 (%5,0)	1 (%1,0)	0 (%0,0)
	SM	86 (%86,0)	11 (%11,0)	3 (%3,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	FO	82 (%82,0)	6 (%6,0)	10 (%10,0)	1 (%1,0)	0 (%0,0)
	MCB	82 (%82,0)	11 (%11,0)	7 (%7,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	MŞ	65 (%65,0)	18 (%18,0)	17 (%17,0)	2 (%2,0)	0 (%0,0)
	BY	72 (%72,0)	12 (%12,0)	16 (%16,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	<u>YZ</u>	83 (%83,0)	9 (%9,0)	4 (%4,0)	1 (%1,0)	3 (%3,0)
Gözlemci II	TFY	86 (%86,0)	9 (%9,0)	4 (%4,0)	1 (%1,0)	0 (%0,0)
	SM	86 (%86,0)	11 (%11,0)	3 (%3,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	FO	82 (%82,0)	8 (%8,0)	10 (%10,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	MCB	80 (%80,0)	11 (%11,0)	9 (%9,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	MŞ	65 (%65,0)	18 (%18,0)	17 (%17,0)	2 (%2,0)	0 (%0,0)
	BY	72 (%72,0)	12 (%12,0)	16 (%16,0)	0 (%0,0)	0 (%0,0)
	<u>YZ</u>	84 (%84,0)	8 (%8,0)	4 (%4,0)	1 (%1,0)	3 (%3,0)

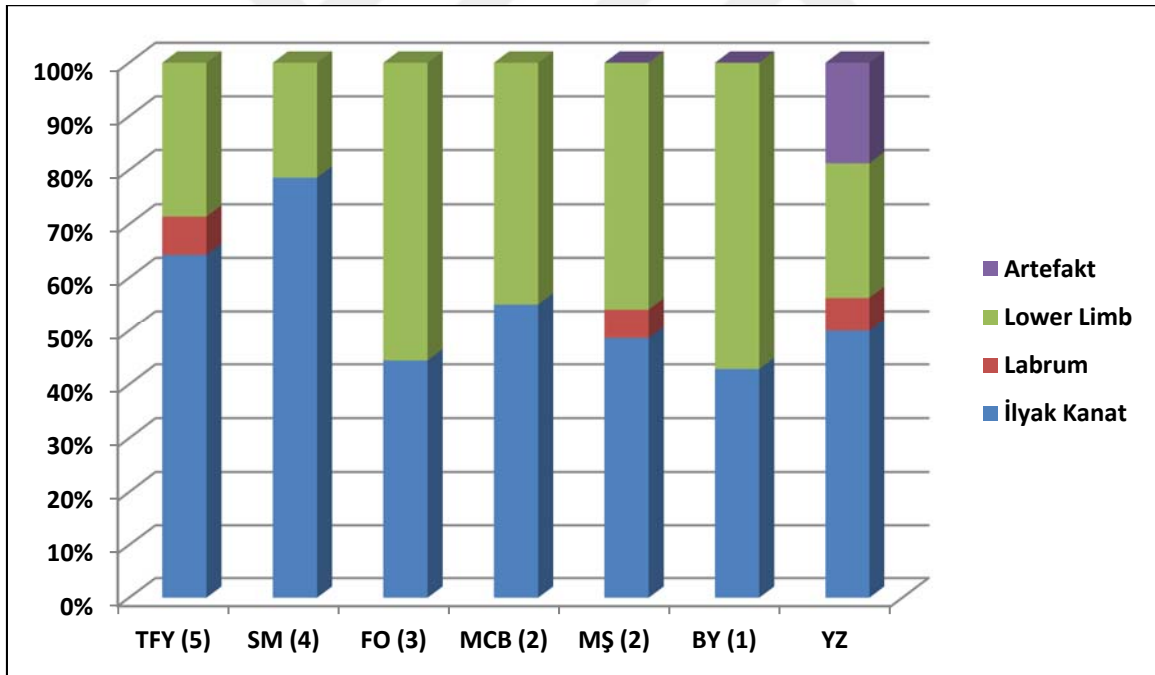
Tablo-4: Gözlemci I ve Gözlemci II'nin Doğruluk ve Hata Değerlendirmeleri

Çalışmaya katılan doktorların ve yapay zekanın (YZ) yapmış oldukları teşhislerin gözlemcilerle göre kabul edilme oranları Tablo-4'te görülmektedir.

Doktorların ve yapay zekanın Gözlemci I'e göre hatalı aldıkları kareler incelendiğinde; TFY %8'le, SM %11'le, MCB %11'le, MŞ %18'le ve YZ %9'la en yüksek oranda ilyak kanat tanımlama hatası yaparken, BY %16'yla ve FO %10'la en yüksek oranda *Lower Limb* (Asetabular en derin nokta) tanımlanmasında hata yaptığı gözlenmiştir.

Doktorların ve yapay zekanın Gözlemci II'ye göre hatalı aldıkları kareler incelendiğinde; TFY %9'la, SM %11'le, MCB %11'le, MŞ %18'le ve YZ %8'le en yüksek oranda ilyak kanat tanımlama hatası yaparken, BY %16'yla FO %10'la en yüksek oranda *Lower Limb* tanımlanmasında hata yaptığı gözlenmiştir.

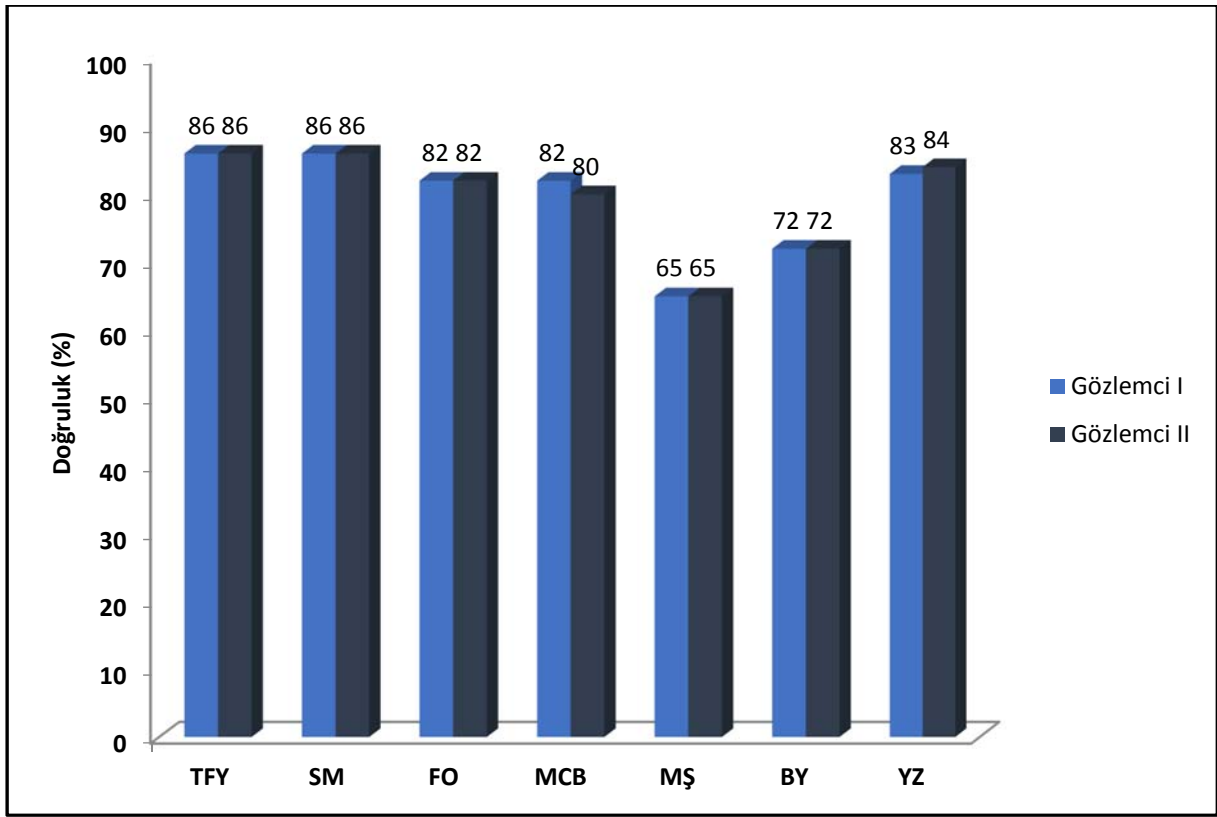
Değerlendirmeler sırasında yapılan hataların oranı Şekil-30'da gösterilmiş olup değerlendirmecilerin kıdem yılı azaldıkça yapılan hatalardaki *Lower Limb* oranının arttığı görülmektedir.



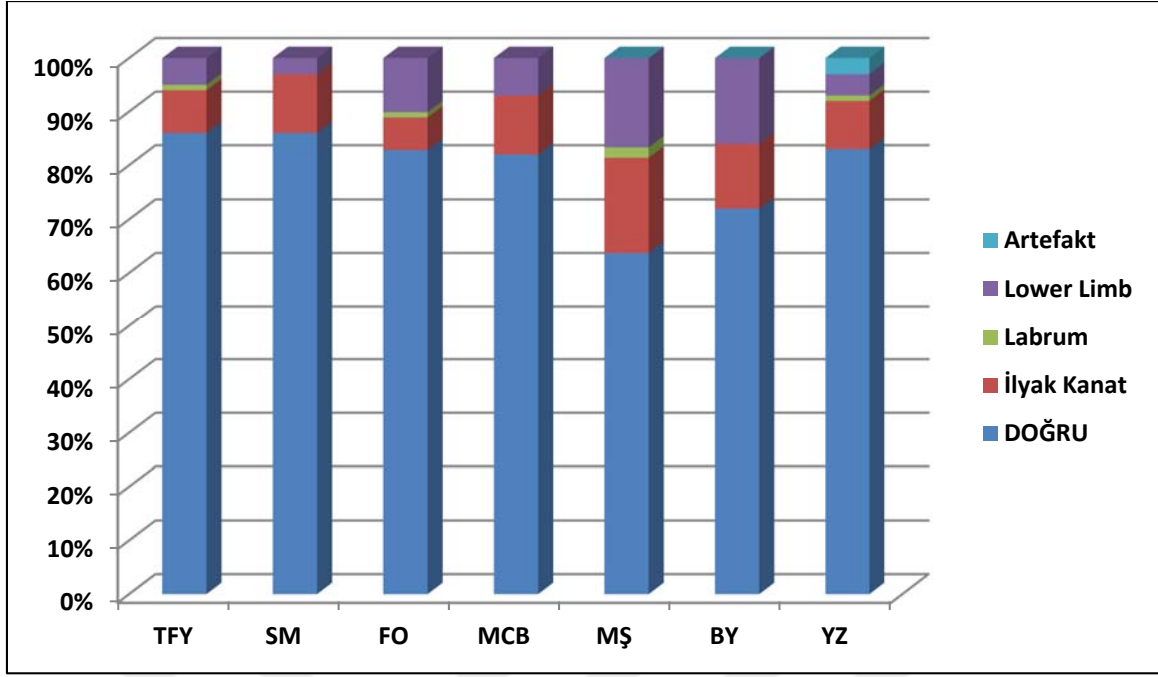
Şekil-30: Değerlendirmede yapılan hataların oranı

Standart plan tespiti sırasında yapılan hatalar değerlendirildiğinde %10,1 oranında ilyak kanat dikliği, %8.8 oranında asetabular derin nokta tespiti, %0.7 oranında labrum tespitinde hata yapılmış olup YZ tarafından 3 adet karede artefakt hatası yapılmıştır.

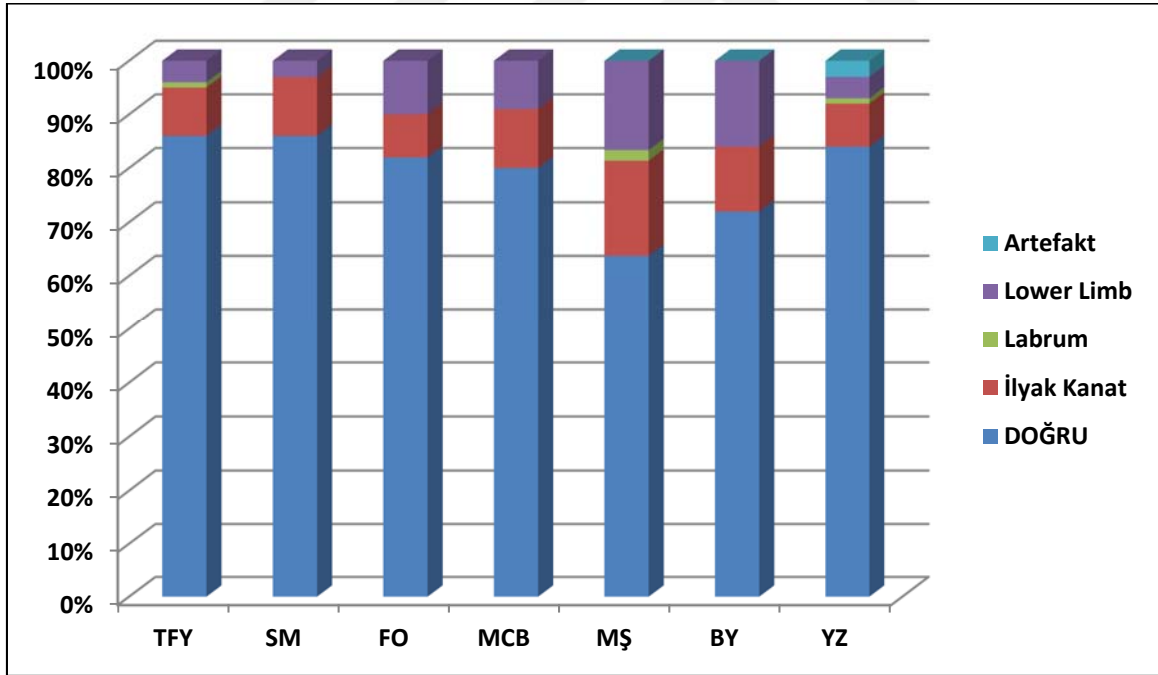
Gözlemcilere göre doktorların ve yapay zekanın doğruluk değerlendirmeleri Şekil-31’de gösterilmiştir. Gözlemci I’ e göre hataların dağılım oranı Şekil-32’de gözlemci II’ye göre hataların dağılım oranı Şekil-33’de gösterilmiştir.



Şekil 31: Gözlemcilere göre doktorların ve yapay zekanın doğruluk oranları



Şekil 32: Gözlemci I'e göre doktorların ve yapay zekanın hata dağılımı



Şekil 33: Gözlemci II'e göre doktorların ve yapay zekanın hata dağılımı

TFY, FO, SM'nin baktığı görüntülerde, Gözlemci I ve Gözlemci II'nin verdikleri kararların %100 uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01).

MCB'nin baktığı görüntülerde, Gözlemci I ve Gözlemci II'nin verdikleri kararların %88 (Cohen K=0.61) oranında uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01).

MŞ'nin baktığı görüntülerde; Gözlemci I ve Gözlemci II'nin verdikleri kararların %95 (Cohen K=0,89) oranında uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01).

BY'nin baktığı görüntülerde; Gözlemci I ve Gözlemci II'nin verdikleri kararların %96 (Cohen K=0,9) oranında uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01).

YZ'nin baktığı görüntülerde; Gözlemci I ve Gözlemci II'nin verdikleri kararların %95 (Cohen K=0,81) oranında uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01).

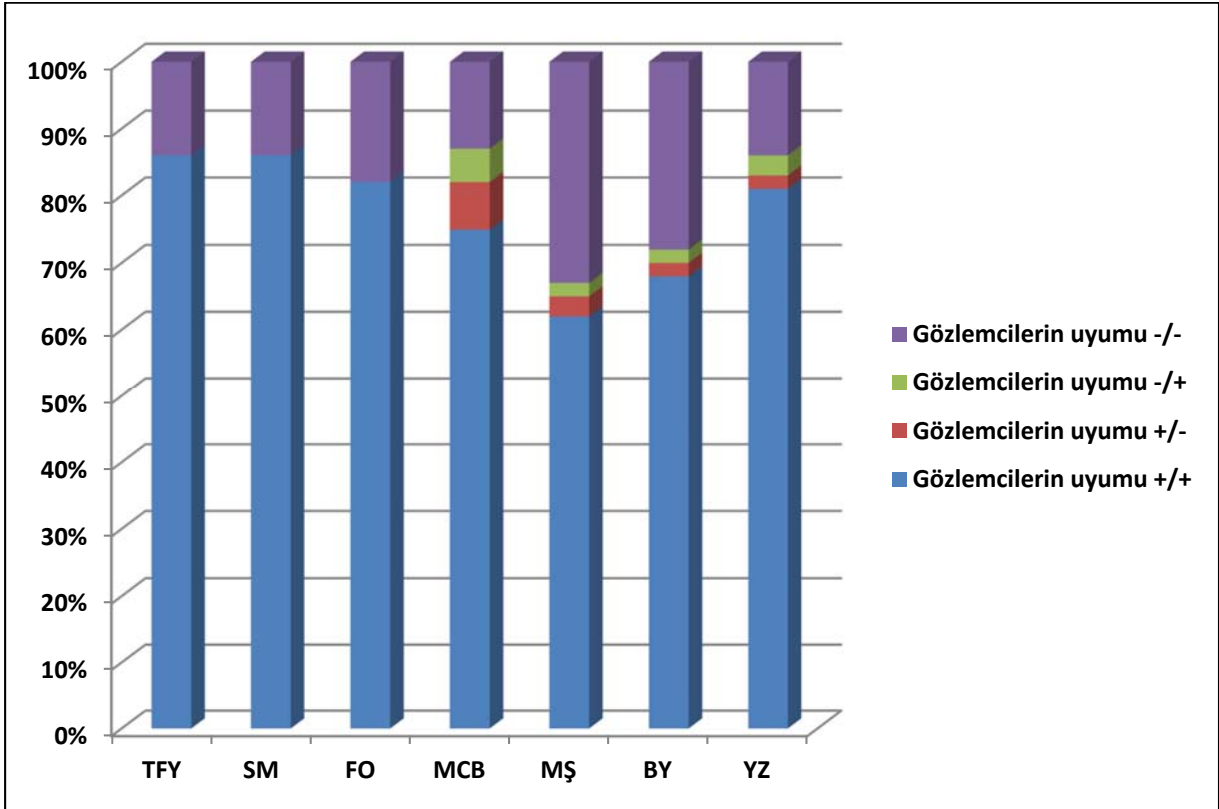
Gözlemci I ve II arası uyum Tablo-5' te gösterilmiştir.

Gözlemci I - Gözlemci II	Gözlemcilere Göre Bakılan Görüntülerin Durumu				Kappa; p
	++	+/-	-/+	--	
	n (%)	n (%)	n (%)	n (%)	
TFY	86 (86,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	14 (14,0)	1,000; 0,001**
SM	86 (86,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	14 (14,0)	1,000; 0,001**
FO	82 (82,0)	0 (0,0)	0 (0,0)	18 (18,0)	1,000; 0,001**
MCB	75 (75,0)	7 (7,0)	5 (5,0)	13 (13,0)	0,610; 0,001**
MŞ	62 (62,0)	3 (3,0)	2 (2,0)	33 (33,0)	0,890; 0,001**
BY	68 (68,0)	2 (2,0)	2 (2,0)	28 (28,0)	0,904; 0,001**
YZ	81 (81,0)	2 (2,0)	3 (3,0)	14 (28,0)	0,819; 0,001**

Kappa ****p<0,01**

Tablo-5: Gözlemcilere Göre Bakılan Görüntülerin Arasındaki Uyumun Değerlendirilmesi, (Standart planın doğruluğunda mutabık kalan gözlemcilerin “Deneme” aşamasında yaptıkları değerlendirmelerin gözlemciler arası uyumunun değerlendirilmesi)

Gözlemci I ve gözlemci II 'nin verdikleri kararlar tüm değerlendirmeler göz önüne alındığında %96.2 (Cohen K=0.882) oranında uyumlu olduğu saptanmıştır (p=0,001; p<0,01). Gözlemcilere göre bakılan görüntülerin dağılımı Şekil-34'te gösterilmiştir.



Şekil-34: Gözlemcilere Göre Bakılan Görüntülerin Dağılımı

V.TARTIŞMA

Günümüzde yeni doğanlarda kalça ultrason taramasının hangi durumlarda yapılacağı konusunda bir uzlaşma halen sağlanamamıştır. Klinik taramanın eşliğinde selektif ultrason tarama programı genel kabul görmekte olup, evrensel ultrason taraması tartışmalı bir konu olmaya devam etmektedir. Bununla birlikte, Avusturya'da 1992 yılından ve Almanya'da 1996 yılından itibaren ulusal gözetim programının bir parçası olarak evrensel tarama programı uygulanmaktadır(40). Bu tür programların maliyet etkin olduğuna ve GKD ile ilgili cerrahi müdahale oranını azalttığına dair kanıtlar bulunmaktadır(41). Bununla birlikte, evrensel taramanın karşıtları, yüksek düzeyde kendiliğinden düzelme ve yanlış pozitif tarama sonuçlarının gereğinden fazla tedaviye ve tedaviye sekonder komplikasyonlara (örneğin femur başı avasküler nekrozu, femoral sinir felci gibi) daha yüksek oranda yol açtığını vurgulamaktadır(40,42). Bu bağlamda, mevcut tarama yöntemlerinin faydalarını nesnel olarak ölçmek amacıyla prospektif randomize çalışmalar yapılmıştır. Evrensel veya seçici ultrason taraması kullanarak 15,529 yenidoğanı değerlendiren bir randomize çalışmada, seçici tarama grubunda geç teşhis edilen GKD oranının anlamlı olmayacak derecede daha yüksek olduğu görülmüştür. Klinik tarama yüksek kalitede olduğunda ek bir ultrason muayenesinin etkisinin sınırlı olduğu bu çalışmada savunulan bir gözlem olmuştur. Yüksek kalite klinik tarama varlığında evrensel ultrason taramasının gerekli olmadığını, ancak anormal veya şüpheli klinik bulguları olan ve kalça displazisi risk faktörlerine sahip olan yenidoğanlar için seçici ultrason taraması önerilmiştir(30).

Kapıcıoğlu ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada Türkiye genelinde tarama programının değişimi ve klinik sonuçlarına değinilmiştir. Bu çalışmaya göre seçici olarak planlanan ulusal programının evrensel programa kendiliğinden evrilmesi ve sonucunda cerrahi girişim oranında azalma (1000 doğumda 1.21'den 1.1'e) gösterilmiştir. Minör cerrahi (kapalı/açık redüksiyon ve alçılama) oranında artış (1000 doğumda 0.47'den 0.89'a) ve majör cerrahi (osteotomi) oranında azalma (1000 doğumda 0.74'ten 0.21'e) çalışmanın dikkat çeken noktaları arasındadır(37). Çalışmada erken saptanan GKD'li bebeklerde ortezleme tedavisi ile cerrahi girişimin azaltılması yönünde bir sonuç olmasa da erken tanı ile konservatif tedavi oranında artış sonucunda cerrahi girişimi azalttığı yönünde varsayımsal bir bağlam da bulunmaktadır. Bu çalışmada evrensel tarama programı desteklenmiş olup ultrason taramasının standardizasyonu için ihtiyacı ulusal bazda arttırmıştır.

Ultrason taraması evrensel olarak belirlenen ülkelerde bu taramanın standardizasyon gereksinimi de artmaktadır. Ülkemiz özelinde düşünecek olursak yukarıda bahsedildiği gibi kendiliğinden evrensel olarak evrilen bu taramanın klinik pratiğimizde gözlemediğimiz kadarıyla standarttan uzak ve Graf metoduna uyulmadan yapılıyor olması çalışmamızın ana çıkış nedenleri arasında sayılabilir. Tüm yenidoğanların tarandığı günümüzde yapılan kalça ultrason görüntülemelerinde radyologlar tarafından standart plan gözetilmeden yapılacak görüntülemeler biz ortopedistleri karar verme aşamasında zor duruma sokmaktadır. Elde edilen görüntülerin standart olmaması nedeniyle ortopedi hekimleri tarafından tekrar kalça ultrasonu değerlendirmesi yapılması gerekmektedir. Tekrar tekrar yapılacak olan bu değerlendirme ile hem iş gücü boşa harcanması hem de aileler tarafından endişeli bir sürecin gelişmesi kaçınılmaz olmaktadır.

Kalça ultrason değerlendirmesi günlük pratiğimizde doğan her çocuğa yapılan bir muayene biçimine dönüşmüş olup Türkiye standartlarında ideal fizik muayenenin de uygulanmasının eksikliği ile önemi artmıştır. Doğan her çocuğun nerdeyse tek bir ultrason değerlendirmesiyle displazi taraması tamamlanmaktadır. Bu durum da ultrasonografik değerlendirmenin önemini artırmaktadır.

İdeal klinik muayenenin etkinliğinin değerlendirilmesi amacıyla planlanan çok uluslu, prospektif gözlemsel tarama çalışmada; ultrason değerlendirmesinde istirahat halinde çıkık olarak saptanan 497 kalça çalışmaya dahil edilmiş. Tüm kalçalar alanında uzman pediatrik ortopedistler tarafından muayene edilip Ortolani pozitifliği ve abdüksiyon derecesi not edilmiş. Çıkık olduğu bilinen 71 (%14) kalça hatalı olarak redükte olarak not edilmiş. Ortolani testinde 33 kalça (%10.2) pozitif olarak değerlendirilirken eş zamanlı yapılan ultrason taramasında redükte edilemediği gözlemlenmiştir. Kalça abdüksiyon muayenesinde >80 derece (Normal abdüksiyon) olarak raporlanan 106 kalçanın (%20.1) ise muayene sırasında çıkık kalçalar olduğu not edilmiş. Bu çalışma, literatürde ilk kez, deneyimli klinisyenlerin dahi, bir yenidoğanın kalçasının yerinde mi yoksa çıkık mı olduğunu teşhis etmekte zorlandığını doğrulamıştır. GKD'nin klinik belirtileri, belirgin kalça çıkığı varlığında bile hafif veya görünmez olabilir. GKD için optimal tarama yöntemi hala tartışmalıdır, ancak bu çalışma, daha fazla incelemeyi yönlendirmek için yalnızca klinik muayeneye güvenmenin faydasını önemli ölçüde sorgulamaktadır(43).

GKD ultrason taraması sırasında Graf yöntemi halen en sık tercih edilen ve kullanılan altın standart olarak güncelliğini korumaktadır. Graf yöntemini kullanırken en önemli kısıtlayıcı faktör kişiye bağlı olarak hataya açık olması ve bundan dolayı iyi bir klinik deneyim

gerektirmesidir. Son dönemde birkaç rapor, GKD ultrason taramasında güvenilir sonuçlar elde etmek için pelvis ile ilişkili doğru ultrason-transdüser pozisyonunun önemini vurgulamıştır(44). Belirli ultrason görüntülerinde tekrarlanan ölçümler incelendiğinde Graf yönteminin yeniden üretilebilirliği ve güvenilirliğinin tarama amaçları için yeterli olduğu kanıtlanmasına rağmen, bu adımdan önce ultrason muayenesinde optimal bir transdüser pozisyonunun önemi vurgulanmıştır. Deneysel bir çalışmada, sonografik kriterlerin transdüser pozisyonundaki eğimlerden etkilendiği ve sonografik ölçümlerde önemli değişikliklere yol açtığı gösterilmiştir(44). Bu bulgular, pelvis pozisyonunun yanı sıra transdüser düzlemi pozisyonunun da önemini doğrulayan raporlarla desteklenmiştir(45). Ancak, önceki raporlar, pelvis pozisyonunun (yani kalça eklemine) transdüser ve pelvis arasındaki göreceli açıların önemini yakalamadan sadece bir optimal transdüser pozisyonuna (yani ölçüm düzlemi) odaklanmıştır. Kolb ve meslektaşları tarafından yapılan bir çalışmada bu sınırlamanın üstesinden gelmek için hem pelvisi hem de transdüser pozisyonunu algılayabilen elektronik navigasyon sisteminin geliştirildiği bir öneri sunulmuş. Bu çalışmada iki grup (konvansiyonel sistem ve navigasyon yardımcı sistem) karşılaştırıldığında konvansiyonel grupta frontal düzlemde olan ortalama 7.9 derecelik eğim ve aksiyel düzlemde 9.5 derecelik eğim saptanırken navigasyon yardımcı grupta bu sayılar sırasıyla 2.2 ye 2.3 olarak saptanmıştır. İstatistiksel olarak eğimler arası fark bulunurken 34 kalça ile yapılan testte alfa ve beta açılarında anlamlı bir fark gösterilememiştir(46). Sunulan elektronik navigasyon sistemi, GKD için ultrason taramasının metodolojik güvenilirliğini ve kalitesini daha da artırmak için yeni bir yaklaşım olarak sunulmuştur. Sonuç olarak, sistem eğim hatalarını önemli ölçüde azaltmada etkili olduğunu kanıtlamış olsa da klinik anlamlılık açısından yeterli görülmemiştir.

Birçok çalışma, standart düzlemi elde etmenin gözlemci içi ve gözlemci arası değişkenliğini, ayrıca değerlendiricinin deneyimine bağlı olarak ölçülen açı değerlerinin de taramalar arası değişkenliğini vurgulamıştır(39). Dias JJ ve arkadaşları yaptıkları bir çalışmada, standart plan üzerinden α ve β açı ölçümlerinde gözlemci içi (α için ICC=0.69; β için ICC=0.78) orta derecede uyum saptanırken bu değerler için gözlemciler arası uyumu (α için ICC = 0.65; β için ICC= 0.11) zayıf olarak göstermişlerdir(47). Uyumun bu denli düşük olmasının nedeni olarak Graf metodundaki yapıtaşlarına bağlı kalınmaması veya bu yapıtaşlarının uygun tanımlanamaması gösterilmiştir.

Graf yöntemi incelendiğinde, doğru teşhis için hasta ve ultrason probunun uygun düzlemde konumlandırılmasının önemini vurgulandığı görülmektedir. Standart plan temini ve tekrarlanabilirliği için muayenenin bu basamağının önemi büyüktür. Ayrıca, uzmanın yeteneği

ve bilgisi bu süreç için çok önemlidir. Bilgisayar destekli ve otomatik standart düzlem görüntü tespit sisteminin geliştirilmesi, GKD teşhisi üzerinde insan becerisine bağlı değişkenlerin etkisini azaltabilir. Bu düşünce çıkış noktası alınarak yapılan bazı çalışmalar literatürde göze çarpmakta olup çalışmamıza da ışık tutması açısından önem arz etmektedir.

Literatür incelendiğinde; Araştırmacılar, GKD teşhisi için çeşitli segmentleme yöntemlerini kullanarak ultrason görüntüleri üzerinde birçok tanımlama ve sınıflama çalışmaları yapmışlardır. Ayrıca, bu görüntülerin sınıflandırılması için Derin Sinir Ağları yöntemlerine odaklanmışlardır. Bununla birlikte, akan ultrason görüntülerinden doğru bir teşhis yapılabilen bir görüntünün yakalanması için literatürdeki çalışma sayısı bildiğimiz kadarıyla bulunmamaktadır.

2016 yılında Golan ve diğerleri, Graf yönteminin tanısal aşamasındaki ölçümsel metodun tamamen otomasyonunu amaçlayan bir çalışma planlamıştır. 1056 tek kare iki boyutlu görüntülerden ilium ve asetabular çatı bölgelerini parçalara ayırıp (segmentasyon) derin öğrenme ağı içerisine tanımlamasını yapmışlar. Önerilen derin öğrenme mimarisi ile elde edilen test sonuçları ile uzman alfa ve beta ölçümleri arasında 0.76'lık bir korelasyon saptanırken ölçümlerin %77'sinin uzmanlar tarafından yapılan tahminlerle doğru olarak saptandığını bildirmişlerdir(48). Alfa açısı ölçümündeki standart deviasyonu 4 derece olarak saptamışlardır. Literatürdeki insan kullanıcıların arasındaki deviasyonun 3.2-3.9 arası derecelerde hesaplandığı çalışmalar(49) ile kıyaslandığında çalışma kendi içinde başarılı görünmektedir. Bu çalışma uygun standart plan analizi yapıldıktan sonra alınan ölçümler için uygun bir yöntem olarak tanımlanmıştır.

AP pelvik radyografileri kullanarak GKD teşhisi koymak için konvolüsyonel sinir ağları (CNN) kullanılarak yapılan bir çalışmada Zhang ve arkadaşları, derin öğrenme sistemini 9081 radyografi kullanılarak eğitmiş. Test amacıyla 1138 radyografik görüntüyü derin öğrenme sistemi ve klinisyenlerin değerlendirmesi için sunup sonuçları karşılaştırmışlar. Bu çalışmada derin öğrenme sisteminin desantralize kalça teşhis etmek için duyarlılık ve özgüllüğü sırasıyla 0.975, 276/289 (%95.5) ve 1978/1987 (%99.5) olarak rapor edilmiştir(50). Park ve diğerleri, AP radyografilerde otomatik GKD tespiti için derin öğrenme algoritmasının teşhis performansını da değerlendirmişler. Şüpheli GKD olan 12 aya kadar yaş grubundaki hastalardan alınan toplam 5076 kalça görüntüsü çalışmaya dahil edilmiş. Önerilen derin öğrenme algoritmasının duyarlılık, özgüllük, pozitif tahmin değeri ve negatif tahmin değeri sırasıyla %98.0, %98.1, %84.5 ve %99.8 olarak rapor edilmiştir(51). Bu çalışmalardan

çıkarmıyla yapay zekâ destekli sistemlerin tanı ve tedavilerin yönlendirilmesi için yakın gelecekte sıkça karşımıza çıkan bir olgu olmaya devam edeceğini düşünmekteyiz.

Kalça ultrason muayenesinde yazılımsal destek ile üç boyutlu ultrasonun (3DUS), minimal eğitimle yeni kullanıcılar için daha kolay bir şekilde gerçekleştirilebilir olduğu gösterilmiştir(52). Prob, kalçayı belirli düzlemlerde tarayarak yüzlerce görüntü yakalar ve bunlardan birkaçı yüksek kalitede görüntü sağlayabilir. 3DUS ile displazi teşhis etmek için bilgisayar destekli teşhis (CAD) teknikleri de takip tarama ihtiyacını azaltmada önemli gelişmeler göstermiştir. Bu sistemlerde dahi tarama kalitesi halen tarama sırasında kullanıcı tarafından manuel olarak değerlendirilmekte olup kullanıcının deneyimine bağlı olarak subjektifliğini korumaktadır. Sıkı eğitim eksikliğinde, kullanıcılar yetersiz görüntüler elde edebilirler, bu da yanlış teşhise neden olabilir ve CAD sistemlerinin performansını ciddi şekilde azaltabilir(53). Çalışmamızda gösterilen gerçek zamanlı olarak tarama kalitesini değerlendiren otomatik tekniklerin gelişimi ile bu tür düşük kaliteli görüntüler kullanım dışı tutulabilir. Hastanın klinikte hala bulunduğu sırada kullanıcıya düşük kaliteli bir taramayı tekrar yapma konusunda önerilerde bulunmada yardımcı olabilir.

Normal kalça eklemi displastik kalçadan doğru bir şekilde ayırt edebilmeyi amaçlayan yapay zekanın (YZ) test edildiği güncel bir ultrason çalışmasında 131 sağlıklı bebek, 60 GKD tanısı olan bebek görüntülemeleri kullanılmış. Totalde 262 kalçadan alınan görüntülemeler kullanılmış. 2400 adet eğitim kümesi sistemin eğitimi için kullanıldıktan sonra 60 adet GKD vakası teste tabii tutulmuş. YZ'nin tanıdaki doğruluk oranı Ortopedi uzmanlarının oranıyla benzer olarak saptanmış(54). Bu çalışmada bir önceki çalışmalara ek olarak Graf tip 3 ve tip 4 kalçalar da eğitim kümesinin önemli bir kısmını oluşturmaktadır. Bu çalışmada herhangi bir ölçüm yapmadan YZ'nin görüntü tanıma örüntüsünden faydalanarak tanımlamalar yapılmış. Bu çalışma kalça ultrason taraması sırasında alınan görüntülemelerin uzman bir görüş olmadan da doğru tiplendirilmesi üzerinde durmuştur. Tiplendirme aşamasında oldukça başarılı bir sonuç alınmış olup doğru standart plan temini sonrası uygulanması ile tam otomatizasyon sistemleri kurulabilir.

Hareendranathan ve meslektaşları tarafından yapılan bir çalışmada, çok ölçekli süper pikseller kullanarak derin öğrenme ağı (CNN) eğiterek asetabular kemiği otomatik olarak segmentlemişlerdir. Segmentleme sonrasında asetabular kemiğin eğimi ile displastik kalçanın tiplendirmesi amaçlanmıştır. Bu yöntemi 50 bebek kalçasının 2D ultrason görüntülerinde test etmiş ve manuel tanımlama ile karşılaştırıldığında önerilen yöntemin normal ve displazik kalçaları doğru bir şekilde sınıflandırmak ve bebeklerde kalça displazisinin otomatik teşhisi için

kullanılabileceğini savunmuşlardır(55). Standart planın doğru bir şekilde uygulanması ardından yapılan bu değerlendirme ile eğitilmiş ultrason kullanıcıları tarafından tiplendirmenin yapılması kolaylaştırılmış olacaktır. Graf yöntemi ile değerlendirmenin eksik oluşu sistemin ana kusuru olarak göze çarpmaktadır.

Hareendranathan ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada; 3D Ultrason kullanılarak elde edilen 100 görüntü alanında uzman (17 sene, Radyolog) değerlendirici tarafından nöral ağ eğitimi için tanımlanmış. Ardından alınan 107 görüntü üzerinden 3 adet uzman olmayan, 1 adet uzman radyolog ile eğitilmiş yapay zekâ tarafından değerlendirmeye alınmış. Değerlendirme; yazıda tanımlanan skora göre (iliüm, labrum, iskium, femur başı görünürlüğü ve kalitesine göre) üzerinden yapılmış. Yapay zeka sistemi ile >%85 doğrulukla (iliüm = 0.89, labrum = 0.94, iskium = 0.85, femur başı = 0.98) 4 yapı taşını doğru tanımlamakla beraber uzman görüşe yakın, 3 adet uzman olmayan okuyucuya göre yüksek skor elde edilmiş(55)(56). Bu çalışma, yüksek kaliteli kalça displazisi ultrason görüntülerini teşhis edebilmek için otomatik olarak ayırt edebilmenin mümkün olduğunu göstermektedir. Bu çalışmayı bir aşama öteye getirmek için ek olarak gerçek zamanlı bir geri bildirim aracına entegre edilmesi kullanımını daha efektif hale getirebilir. Böylece, hafifçe eğitilmiş bir kullanıcı, yenidoğan kalçası üzerinden hızlı bir 2D ultrason hareketi ile kalça displazisini doğru bir şekilde teşhis edebilir. Deneyimsiz kullanıcıları eğitmek için geri bildirim olarak kullanılabilir ve sonuç olarak kalça ultrasonunu yeterince güvenilir ve maliyet etkin hale getirerek evrensel tarama için kullanılabilir hale gelebilir.

Çevik ve diğerleri tarafından yapılan bir çalışmada; GKD teşhisi için kullanılacak standart düzlemi gerçek zamanlı ultrason görüntülerinden tespit etmek amaçlanmıştır. Derin öğrenme yöntemi ve You Only Look Once (YOLO) nesne tanıma altyapısı kullanılarak gerçekleştirilen uygulamanın sınıflandırma başarısını artırmak için önceden eğitilmiş ağlar da kullanılmıştır. Ayrıca, SqueezeNet, VGG16, VGG19, ResNet50 ve ResNet101 gibi önceden eğitilmiş nöral ağlar ile YOLO'yu birleştirerek oluşturulan modeller test edilmiş ve performansları tartışılmıştır. Sistemin eğitim aşaması için, uzman doktorun teşhis yaptığı 140 tek kare görüntü seçilmiştir. Sistemi test etmek için ise, teşhis süreci sırasında kaydedilen 5-10 saniyelik 8 video alınmıştır. Son aşamada, eğitilen derin nöral ağ, veri setinde bulunan ancak sistem tarafından daha önce sunulmayan gerçek zamanlı videolarla test edilmiştir. Akış görüntüsündeki eğitilmiş ağın belirli bir ultrason kare benzerlik oranına göre yakalanan tek kare görüntüleri (örneğin, 0.9 ve üstü eşik) uzman tarafından yeniden değerlendirilip görüntülerin GKD teşhisi için kullanılıp kullanılmayacağına karar verilmiştir. Ortalama doğruluk oranı 0.89

(0.78-0.96) olarak uzman görüşü ile değerlendirilmiş. Çalışmanın sonuçları genel olarak değerlendirildiğinde, uzmanların doğru teşhis yapabilmeleri için gereken uygun standart düzlemi elde etmek için önerilen derin öğrenme mimarilerinin oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir(57). Fakat bu sistemlerde yapay zekanın karar verme hızı oldukça düşük olarak gözlemlenmiş olup günlük pratikte kullanılabilir hızda değildir. Tarafımızca önerilen bu çalışmadaki metot ile gerçek zamanlı tespitler daha hızlı yapılabilmektedir.

Bu çalışmada kalça ultrason görüntülemesi sırasında akan video görüntüsü içerisinde standart plan tespitini kolaylaştıran bir yöntem sunulmuştur. Klinik pratiğimize katkısı olabileceğini düşündüğümüz bu yöntem ile muayene sırasında hekimlere karar verme sırasında kolaylık sağlayacağı görüşündeyiz. Sunduğumuz yöntemin klinik korelasyonu ile ultrasonografik değerlendirme sırasında uygulayıcıya kolaylık sağlayabileceği gösterilmiştir. Akan video üzerinden standart plan tespitinin yapılabilir olmasının gösterilmesi bize yapılacak yeni çalışmalar için fikir vermektedir.

VI.ÇIKARIMLAR

- Kalça ultrason taramalarında derin öğrenme modelleri ile eğitilen algoritmalar kullanılarak klinik pratikte insan kullanıcılara benzer veya üstün doğruluk oranında standart plan tespitinin yapılabildiği gösterilmiştir.
- Ultrasonografik değerlendirmenin doğruluğunun eğitim yılıyla ve deneyimle bağlantılı olduğu görüldü.
- Uzman radyolog ve uzman ortopedist kullanıcıya benzer oranda; deneyimsiz kullanıcılardan daha yüksek doğruluk ile önerilen sistemin çalıştığı görüldü.
- Standart plan tespitinde bu çalışmada yapıldığı gibi yapay zekâ destekli otomatize sistemler kullanılması doğruluk oranını artırırken yapılabilecek hata oranlarını da az eğitilmiş kişiler için düşürebilir.
- Derin öğrenme modelleri kullanılırken referans karelerle beraber negatif karelerin de kullanıldığı taktirde doğruluk oranlarının artırılabilir olduğu görülmüştür. Daha yüksek doğruluk oranlarının elde edilmesi için örneklem büyüklüğünün artırılması ile çözüm üretilebilmiştir.
- Kalça ultrason değerlendirmesi Türkiye standartlarında günlük pratiğimizde doğan her çocuğa yapılan bir inceleme haline dönüşmüş olup fizik muayenenin ikinci plana atılmasına sebep olmuştur. Doğan her çocuğun kalça displazi taraması nerdeyse tek bir ultrason görüntüsünün değerlendirilmesiyle tamamlanmaktadır. Bu durum da ultrasonografik değerlendirmenin önemini ve standardizasyon gereksinimi artırmaktadır.
- Bu algoritmalar kullanılarak ultrasonografik değerlendirmeler standardizasyon eksikliğinden arındırılabilir ve deneyimsiz kullanıcılara doğruluk oranları artırılmış görüntüler ile klinik pratiklik sağlanabilir.

VII.KAYNAKLAR

1. Ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip in the neonate: the effect on treatment rate and prevalence of late cases - PubMed [Internet]. [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8008537/>
2. Kutlu A, Memik R, Mutlu M, Kutlu R, Arslan A. Congenital Dislocation of the Hip and Its Relation to Swaddling Used in Turkey. *J Pediatr Orthop* [Internet]. 1992;12(5). Available from: https://journals.lww.com/pedorthopaedics/fulltext/1992/09000/congenital_dislocation_of_the_hip_and_its_relation.6.aspx
3. Tümer Y, Ömeroğlu H. Prevention of developmental hip dysplasia in Turkey. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 1997;(1):176–81.
4. Graf R, Scott S, Lercher K, Baumgartner F, Benaroya A. Hip sonography: Diagnosis and management of infant hip dysplasia. *Hip Sonography: Diagnosis and Management of Infant Hip Dysplasia.* 2006. 1–114 p.
5. Wenger DR, Bomar JD. Historical Aspects of DDH. *Indian J Orthop* [Internet]. 2020;55(6):1360–71. Available from: <https://doi.org/10.1007/s43465-021-00470-x>
6. Davies SJM, Walker G. Problems in the early recognition of hip dysplasia. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 1984 [cited 2023 Oct 15];66(4):479–84. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6746677/>
7. Ito K, Kato T, Masuda T. Diagnosis and treatment of congenital dislocation of the hip joint in the new-born. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 1962 [cited 2023 Oct 15];44-B(1–2):46–54. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14038758/>
8. Congenital dysplasia of the hip in the Navajo infant - PubMed [Internet]. [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5652776/>
9. Acetabular dysplasia and familial joint laxity: two etiological factors in congenital dislocation of the hip. A review of 589 patients and their families - PubMed [Internet]. [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/5487570/>
10. ANDREN L. Pelvic instability in newborns with special reference to congenital dislocation of the hip and hormonal factors. A roentgenologic study. *Acta Radiol Suppl* [Internet]. 1962 [cited 2023 Oct 21];212:1–66. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13861448/>
11. Smith WS, Coleman CR, Olix ML, Slager RF. Etiology of Congenital Dislocation of the Hip: An Experimental Approach To The Problem Using Young Dogs. *J Bone Jt Surgery, Am Vol* [Internet]. 1963;45:491–500. Available from: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:78580153>
12. Wilkinson JA. PRIME FACTORS IN THE ETIOLOGY OF CONGENITAL DISLOCATION OF THE HIP. *J Bone Jt Surg Br Vol* [Internet]. 1963;45-B(2):268–83. Available from: <https://doi.org/10.1302/0301-620X.45B2.268>
13. MULLER GM, SEDDON HJ. Late results of treatment of congenital dislocation of the hip. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 1953 [cited 2023 Oct 15];35-B(3):342–62. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/13084679/>

14. Suzuki S, Yamamuro T. Correlation of fetal posture and congenital dislocation of the hip. *Acta Orthop Scand* [Internet]. 1986 [cited 2023 Oct 15];57(1):81–4. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3962640/>
15. Lowry CA, Donoghue VB, O’Herlihy C, Murphy JF. Elective Caesarean section is associated with a reduction in developmental dysplasia of the hip in term breech infants. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 2005 Jul [cited 2023 Oct 15];87(7):984–5. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15972916/>
16. Dunn PM. Perinatal Observations on the Etiology of Congenital Dislocation of the Hip. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 1976;119. Available from: https://journals.lww.com/clinorthop/fulltext/1976/09000/perinatal_observations_on_the_etiology_of.4.aspx
17. HASHIMOTO S. ROENGENOGRAPHICAL STUDY ON THE SHAPE OF THE PELVIS OF THE INFANT. *KITAKANTO Med J*. 1980;30(6):357–69.
18. Watanabe RS. Embryology of the human hip. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 1974 [cited 2023 Oct 15];No. 98(98):8–26. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/4817247/>
19. Weinstein SL. Bristol-Myers Squibb/Zimmer award for distinguished achievement in orthopaedic research. Long-term follow-up of pediatric orthopaedic conditions. Natural history and outcomes of treatment. *J Bone Joint Surg Am* [Internet]. 2000 [cited 2023 Oct 15];82-A(7):980–90. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10901313/>
20. Harris NH. Acetabular growth potential in congenital dislocation of the hip and some factors upon which it may depend. *Clin Orthop Relat Res*. 1976 Sep;(119):99–106.
21. Yamamuro T, Doi H. Diagnosis and treatment of congenital dislocation of the hip in newborns. *J Jpn Orthop Assoc*. 1965;39:492.
22. COOPERMAN DR, WALLENSTEN R, STULBERG SD. Acetabular Dysplasia in the Adult. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 1983;175. Available from: https://journals.lww.com/corr/fulltext/1983/05000/acetabular_dysplasia_in_the_adult_.13.aspx
23. Homer CJ, Baltz RD, Hickson GB, Miles P V., Newman TB, Shook JE, et al. Clinical practice guideline: early detection of developmental dysplasia of the hip. Committee on Quality Improvement, Subcommittee on Developmental Dysplasia of the Hip. American Academy of Pediatrics. *Pediatrics* [Internet]. 2000 [cited 2023 Oct 22];105(4 Pt 1):896–905. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10742345/>
24. Wedge JH, Wasylenko MJ. The natural history of congenital disease of the hip. *J Bone & Jt Surg Br Vol*. 1979;61(3):334–8.
25. Graf R. Classification of hip joint dysplasia by means of sonography. *Arch Orthop Trauma Surg* [Internet]. 1984 Feb [cited 2023 Oct 15];102(4):248–55. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/6712426/>
26. The role of ultrasound in the diagnosis and management of congenital dislocation and dysplasia of the hip - PubMed [Internet]. [cited 2023 Oct 15]. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2013607/>
27. Keller MS, Weltin GG, Rattner Z, Taylor KJW, Rosenfield NS. Normal instability of the hip in the neonate: US standards. *Radiology* [Internet]. 1988 [cited 2023 Oct

- 15];169(3):733–6. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/3055037/>
28. Bialik V, Bialik GM, Wiener F. Prevention of overtreatment of neonatal hip dysplasia by the use of ultrasonography. *J Pediatr Orthop B* [Internet]. 1998 [cited 2023 Oct 15];7(1):39–42. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9481656/>
 29. Von Kries R, Ihme N, Oberle D, Lorani A, Stark R, Altenhofen L, et al. Effect of ultrasound screening on the rate of first operative procedures for developmental hip dysplasia in Germany. *Lancet (London, England)* [Internet]. 2003 Dec 6 [cited 2023 Oct 15];362(9399):1883–7. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/14667743/>
 30. Holen KJ, Tegnander A, Bredland T, Johansen OJ, Sæther OD, Eik-Nes SH, et al. Universal or selective screening of the neonatal hip using ultrasound? *J Bone Jt Surg - Ser B*. 2002;84(6):886–90.
 31. Imrie M, Scott V, Stearns P, Bastrom T, Mubarak SJ. Is ultrasound screening for DDH in babies born breech sufficient? *J Child Orthop* [Internet]. 2010 Jan [cited 2023 Oct 15];4(1):3–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19915881/>
 32. Smith JT, Matan A, Coleman SS, Stevens PM, Scott SM. The predictive value of the development of the acetabular teardrop figure in developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop* [Internet]. 1997 Mar [cited 2023 Oct 15];17(2):165–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9075089/>
 33. Lequesne M. The false profile view of the hip: role, interest, economic considerations. *Jt bone spine* [Internet]. 2002 [cited 2023 Oct 15];69(2):109–13. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12027300/>
 34. Kashiwagi N, Suzuki S, Kasahara Y, Seto Y. Prediction of reduction in developmental dysplasia of the hip by magnetic resonance imaging. *J Pediatr Orthop* [Internet]. 1996 [cited 2023 Oct 15];16(2):254–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8742296/>
 35. Kawaguchi AT, Otsuka NY, Delgado ED, Genant HK, Lang P. Magnetic resonance arthrography in children with developmental hip dysplasia. *Clin Orthop Relat Res* [Internet]. 2000 [cited 2023 Oct 15];374(374):235–46. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10818983/>
 36. Clarke NMP, Reading IC, Corbin C, Taylor CC, Bochmann T. Twenty years experience of selective secondary ultrasound screening for congenital dislocation of the hip. *Arch Dis Child* [Internet]. 2012 May [cited 2023 Oct 15];97(5):423–9. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22412044/>
 37. Kapicioğlu MIS, Karataş AF, Akkaya M, Korkusuz F, Ömeroğlu H. Six years of experience with the nationwide newborn ultrasonographic hip screening program in Turkey: a considerable change in the type of surgical interventions in developmental dysplasia of the hip. *J Pediatr Orthop B*. 2023;1–5.
 38. Vasilescu D, Cosma D, Vasilescu DE, Jid CB, Gersak M, Lenghel M, et al. A new sign in the standard hip ultrasound image of the Graf method. *Med Ultrason*. 2015;17(2):206–10.
 39. Graf R, Mohajer M, Plattner F. Hip sonography update. Quality-management, catastrophes - tips and tricks. *Med Ultrason* [Internet]. 2013 Dec [cited 2023 Oct

- 18];15(4):299–303. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24286094/>
40. Dezateux C, Rosendahl K. Developmental dysplasia of the hip. *Lancet* (London, England) [Internet]. 2007 May 5 [cited 2023 Oct 18];369(9572):1541–52. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17482986/>
 41. Thaler M, Biedermann R, Lair J, Krismer M, Landauer F. Cost-effectiveness of universal ultrasound screening compared with clinical examination alone in the diagnosis and treatment of neonatal hip dysplasia in Austria. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 2011 Aug [cited 2023 Oct 18];93(8):1126–30. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21768641/>
 42. Biedermann R, Riccabona J, Giesinger JM, Brunner A, Liebensteiner M, Wansch J, et al. Results of universal ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip: A prospective follow-up of 28 092 consecutive infants. *Bone Jt J*. 2018;100B(10):1399–404.
 43. Harper P, Joseph BM, Clarke NMP, Herrera-Soto J, Sankar WN, Schaeffer EK, et al. Even Experts Can Be Fooled: Reliability of Clinical Examination for Diagnosing Hip Dislocations in Newborns. *J Pediatr Orthop*. 2020;40(8):408–12.
 44. Kolb A, Benca E, Willegger M, Puchner SE, Windhager R, Chiari C. Measurement considerations on examiner-dependent factors in the ultrasound assessment of developmental dysplasia of the hip. *Int Orthop* [Internet]. 2017 Jun 1 [cited 2023 Oct 18];41(6):1245–50. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28405809/>
 45. Jaremko JL, Mabee M, Swami VG, Jamieson L, Chow K, Thompson RB. Potential for change in US diagnosis of hip dysplasia solely caused by changes in probe orientation: patterns of alpha-angle variation revealed by using three-dimensional US. *Radiology* [Internet]. 2014 Dec 1 [cited 2023 Oct 18];273(3):870–8. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24964047/>
 46. Kolb A, Chiari C, Schreiner M, Heisinger S, Willegger M, Retzl G, et al. Development of an electronic navigation system for elimination of examiner-dependent factors in the ultrasound screening for developmental dysplasia of the hip in newborns. *Sci Rep* [Internet]. 2020;10(1):1–5. Available from: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-73536-9>
 47. Dias JJ, Thomas IH, Lamont AC, Mody BS, Thompson JR. The reliability of ultrasonographic assessment of neonatal hips. *J Bone Joint Surg Br* [Internet]. 1993 [cited 2023 Oct 18];75(3):479–82. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8496227/>
 48. Golan D, Donner Y, Mansi C, Jaremko J, Ramachandran M. Fully automating Graf's method for DDH diagnosis using deep convolutional neural networks. *Lect Notes Comput Sci (including Subser Lect Notes Artif Intell Lect Notes Bioinformatics)* [Internet]. 2016 [cited 2023 Oct 18];10008 LNCS:130–41. Available from: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-319-46976-8_14
 49. Roovers EA, Boere-Boonekamp MM, Geertsma TSA, Zielhuis GA, Kerkhoff AHM. Ultrasonographic screening for developmental dysplasia of the hip in infants. Reproducibility of assessments made by radiographers. *J Bone Joint Surg Br*. 2003 Jul;85(5):726–30.
 50. Zhang SC, Sun J, Liu CB, Fang JH, Xie HT, Ning B. Clinical application of artificial

- intelligence-assisted diagnosis using anteroposterior pelvic radiographs in children with developmental dysplasia of the hip. *Bone Joint J* [Internet]. 2020 Nov 1 [cited 2023 Oct 18];102-B(11):1574–81. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33135455/>
51. Park HS, Jeon K, Cho YJ, Kim SW, Lee SB, Choi G, et al. Diagnostic performance of a new convolutional neural network algorithm for detecting developmental dysplasia of the hip on anteroposterior radiographs. *Korean J Radiol*. 2021;22(4):612–23.
 52. Mostofi E, Chahal B, Zonoobi D, Hareendranathan A, Roshandeh KP, Dulai SK, et al. Reliability of 2D and 3D ultrasound for infant hip dysplasia in the hands of novice users. *Eur Radiol* [Internet]. 2019 Mar 2 [cited 2023 Oct 18];29(3):1489–95. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30159618/>
 53. Hareendranathan AR, Zonoobi D, Mabee M, Diederichs C, Punithakumar K, Noga M, et al. Semiautomatic classification of acetabular shape from three-dimensional ultrasound for diagnosis of infant hip dysplasia using geometric features. *Int J Comput Assist Radiol Surg* [Internet]. 2017 Mar 1 [cited 2023 Oct 18];12(3):439–47. Available from: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/28025728/>
 54. Kinugasa M, Inui A, Satsuma S, Kobayashi D, Sakata R, Morishita M, et al. Diagnosis of Developmental Dysplasia of the Hip by Ultrasound Imaging Using Deep Learning. *J Pediatr Orthop*. 2023;43(7):E538–44.
 55. Hareendranathan AR, Chahal B, Ghasseminia S, Zonoobi D, Jaremko JL. Impact of scan quality on AI assessment of hip dysplasia ultrasound. *J Ultrasound* [Internet]. 2022;25(2):145–53. Available from: <https://doi.org/10.1007/s40477-021-00560-4>
 56. Hareendranathan AR, Chahal BS, Zonoobi D, Sukhdeep D, Jaremko JL. Artificial Intelligence to Automatically Assess Scan Quality in Hip Ultrasound. *Indian J Orthop* [Internet]. 2020;55(6):1535–42. Available from: <https://doi.org/10.1007/s43465-021-00455-w>
 57. Training B. DETECTION OF STANDARD PLANE FROM ULTRASOUND SCANS BY DEEP LEARNING YÖNTEMLERİYLE ULTRAS ON TARAMALARINDAN STANDART DÜZLEM. 2022;10(3):1014–26.