

Babalık Testinde Rapor Serüveni: Bir Olgu Sunumu

The Adventure of a Paternity Case: A Case Report

Gavril PETRİDİS¹, Ş. Şebnem ÖZCAN^{2*}, Umut Büyük³, Sotiri KALFOGLOU⁴

GP: 0000-0003-2832-1159 ŞŞÖ: 0000-0003-0751-279X UB: 0000-0001-6338-2876 SK: 0000-0002-3397-0789

¹İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

²İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

³Hibritgen Biyoteknoloji Ar-Ge Sanayi Ticaret Limited Şirketi, İstanbul, Türkiye

⁴İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Tıp Fakültesi Adli Tıp Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye

Öz

Çocuğun soybağının belirlenmesi, bir başka ifadeyle nesep tayini konusu, adli tıbbın en sık karşılaştığı uygulama alanlarından biridir. Bu amaçla bireyler tarafından veya Mahkeme yoluyla talep edilen babalık testlerinde, kişilerden alınan biyolojik örneklerden (kan veya ağız içi sürüntü) DNA analizleri gerçekleştirilir ve STR (Short Tandem Repeats, Kısa Ardışık Tekrarlar) adı verilen bölgeler incelenir, çocuk ve baba adayının STR lokuslarında taşıdıkları özelliklerin benzerliği esas alınarak; biyolojik babalık ilişkisi değerlendirilir. Bu çalışmada Avusturyada yaşayan bir Türk ailenin, farklı laboratuvarlarda dört kere babalık testi yaptırmasına neden olan süreç ve nedenler sunulmuştur. Her ne kadar bu olguda alınan üç raporda da “babalık ilişkisinin bulunduğu dair” sonuç verilmiş olsa da incelenen STR lokuslarından birinde tespit edilen farklılık, aileye net olarak açıklanamadığı için ailenin durumla ilgili endişelerini gidermeye yetmemiş ve toplamda dört farklı laboratuvarında babalık testi yaptırarak sonuçları netleştirme çabasına dönüşmüş hem maddi, hem de yaşadıkları kaygılarla manevi olarak tüm aileyi yıpratmıştır. Bu olgu aracılığıyla, incelenen DNA-STR profillerinde kimi zaman bireylerin aklını karıştıracak, endişeye sebep olacak, teknik olarak mümkün ve bilimsel olarak açıklanabilir durumlarla karşılaşılabilceği vurgulanmıştır. Adli genetik incelemelerle ilgili çalışan, rapor hazırlayan, bireylere sözlü olarak raporla ilgili bilgilendirme yapan uzmanların, nadiren de olsa görülme olasılığı olan bu potansiyel karışıklık durumları hakkında mutlaka bilgi sahibi olması, babalık testi sonuçlarını doğru yorumlamaları ve başvuran bireylere doğru ve net bir şekilde açıklamaları şarttır. Bu sebeple gerekli teorik ve pratik bilgiye sahip olmalarının yanında, daha önce yayınlanmış bilimsel çalışmalarını araştırarak, alandaki gelişmeleri takip edecek ve kendilerini geliştirecek nitelikte olmaları önem taşır.

Anahtar Kelimeler: babalık testi, DNA, STR, adli genetik, bilirkişi raporu

Abstract

Paternity determination is one of the most common practices in forensic medicine. For this purpose, DNA analyses are performed using the biological samples (blood or buccal swabs) taken from individuals and STR (Short Tandem Repeat) loci are examined in paternity tests requested by individuals or the Court. The genetic similarities of the STR alleles guide the forensic geneticists to reveal that there is a biological relationship between the child and the alleged father. In this study, the adventure of a Turkish family living in Austria having paternity tests carried out four times in four different laboratories is presented. Although all the paternity reports showed that there was a biological relationship between the child and the alleged father, a genetic difference (seems like exclusion) detected in one of the STR loci of the father was not clearly explained to the family, which raised their concerns about this paternity test. This turned into an effort to clarify the results by having the paternity tests performed in four different laboratories and it affected the whole family both financially and psychologically. By means of this case report, it is emphasized that some technical problems which are possible and scientifically explainable may be encountered in genetic identification systems, and these can confuse the individuals causing anxiety. Therefore it is imperative that the experts analyzing the samples, writing the paternity test reports, explaining the results to the families be aware of these confusions, interpret the paternity test results correctly and explain them accurately and clearly to the families.

Keywords: paternity test, DNA, STR, forensic genetics, expert witness reports

Giriş

Adli tıbbın sık karşılaştığı güncel uygulamalardan birisi, medeni hukukun işlemlerine yardımcı olması bakımından önem taşıyan, çocuğun soybağının belirlenmesi konusudur. Evlilik ilişkisi sürerken veya gayri resmi ilişkilerden doğan çocuklar için, baba olduğundan şüphe edilen erkeğin kendisi veya anne; ilgili kurumlara özel başvuru yaparak babalık testi yapılmasını talep edebilecekleri gibi; çocuğun/çocukların babası olduğundan şüphe duyan erkek, ilgili mahkemeye doğrudan soybağının reddi davası da açabilir. Her iki durumda da üniversitelerin bilirkişi olarak çalışmaya yetkin adli tıpla ilgili birimleri; anne, çocuk ve şüpheli baba üçlüsünden aydınlatılmış onam ile kan veya ağız içi sürüntü örneği alarak adli genetik analizler gerçekleştirir. Bu incelemeler; biyolojik örneklerden DNA-STR (Short Tandem Repeats, Kısa Ardışık Tekrar Bölgeleri) tiplmesi yoluyla yapılır (1). Elde edilen DNA-STR profilleri, anne, çocuk ve şüpheli baba arasında karşılaştırılarak; babalık ilişkisi sorgulanan erkeğin, çocuğun biyolojik babası olup olmadığı sonucuna varılır ve bilirkişi raporu halinde başvuru yapan kişilere veya mahkemeye sunulur.

Özel başvuru olarak babalık testi yapılmasını talep edilen kişiler; kimi zaman kendilerine sunulan rapordaki sonuçları kabul etmek istemeyebilir veya doğrulamak isteyebilir, dolayısıyla başka bir laboratuvaradan daha babalık testi yapılmasını talep edebilirler.

Elinde birden fazla babalık testi raporu olan kişiler; söz konusu raporların farklı bilgiler sunması halinde, hangi sonucun doğru olduğunu bulma çabasıyla tekrar ve başka laboratuvarlara babalık testi için müracaat ederler. Bu çalışmada da Avusturya'da yaşayan bir Türk ailenin bu şekilde yaşadığı bir babalık testi rapor serüveni sunulmuştur.

Olgu

Avusturya'da yaşamakta olan biri kız, diğeri erkek iki çocuklu bir aile, yaşadıkları şüphe üzerine babalık testi yaptırmak için Şubat 2017'de Türkiye'de bir laboratuvara başvurur. Söz konusu laboratuvar; anne, iki çocuk ve babadan biyolojik örnek alarak, analizlerin yapılabilmesi için örnekleri yurt dışında bir laboratuvara gönderir. DNA-STR analizlerinde rutin olarak yapılan 15 STR+Amelogenin incelemesine ek olarak 5 STR daha çalışılır, toplamda 21 genetik özellik incelenir. İncelemeler tamamlandığında hazırlanan rapor, aileye

teslim edilir. Raporda babalığı sorgulanan kişinin, her iki çocuğun da %99,999 babası olduğu ayrı ayrı bildirilmektedir, ancak kız çocuk-baba karşılaştırmasında bir STR lokusunda farklılık mevcuttur. D13S317 lokusu için annede 8-10, erkek çocukta 10-10, babada 10-10 alelleri belirlenirken; kız çocuk 8-8 alelleri taşımakta ve incelenen 21 genetik özellik içinde sadece bu lokusta baba ile uyumsuzluk görülmektedir. Bu durum raporda, "bir olası mutasyon gözlemlendiği, mutasyon frekansının babalık olasılığı hesabına dahil edildiği" şeklinde belirtilir.

Söz konusu durum, ailede endişe yaratır ve Ocak 2018'de Türkiye'de bir başka laboratuvara başvuru yaparak yeniden babalık testi yapılması için anne, baba ve sadece kız çocuk biyolojik örnek verirler. Rutin olarak incelenen 15 STR+Amelogenin lokuslarına ek olarak 16 STR lokusu daha incelenir. Analizler sonucu oluşturulan ve aileye iletilen raporda "anne-baba ve kız çocuk arasında paternite (ebeveynlik) yönünde ilişki bulunduğu" ifade edilir. Bu raporda D13S317 lokusu için anne 8-10, kız çocuk 8-8, baba 8-10 genotiplerinde görülmektedir.

D13S317 lokusu açısından babanın bir raporda 10-10, diğerinde 8-10 alelleri taşıyor görünmesini anlamlandıramayan uzmanlar, ailenin yaşadığı endişe ve karmaşayı gideremez. Bu sebeple aile, Mart 2019'da yaşamakta olduğu Avusturya'da bir laboratuvara babalık testi için başvuru yapar, biyolojik örnek verir ve raporu beklemeye başlar. DNA-STR analizlerinde 18 STR+Amelogenin lokusu incelenir ve babalığı sorgulanan kişinin, kız çocuğun %99,999 babası olduğu bildirilir. Bu raporda da ikinci rapordaki gibi, D13S317 lokusu için anne 8-10, kız çocuk 8-8 iken; baba 8-10 alelleri taşır görünmektedir.

Avusturya'da yaşamına devam etmekte olan aile; Ekim 2019'da İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Adli Tıp Laboratuvarı'na telefonla ulaşır, durumu anlatır, daha önce aldıkları raporları iletir ve durumun değerlendirilmesini ister. Raporlar incelenir ve aileye ulaştırılmak üzere, tüm dünyada usulüne uygun ve rutin bir uygulama olarak mevcut bulunan örnek alma kutusu hazırlanır. İçinde aydınlatılmış onam formu, delil teslim formu ve sürüntü çubukları olan bu kutu aileye gönderilir. Aile bireyleri (anne, kız çocuk ve baba) kutu içinden çıkan ağız içi sürüntü çubukları ile her bireye ait ağız içi sürüntüsü örneklerini ayrı ayrı alıp paketleyerek, ayrıca imzaladıkları ve onay verdikleri formlarla birlikte aynı kutu içinde İstanbul Yeni Yüzyıl

Üniversitesi Adli Tıp Laboratuvarı'na gönderirler. Laboratuvara ulaşan üç kişiye ait ağız içi sürüntü örneği, Örnek Kabul Birimi tarafından teslim alınıp, kontrolü yapılır ve kod numaraları verilerek Adli Genetik İnceleme Birimi'ne laboratuvara yönlendirilir. DNA-STR analizlerinde rutin olarak incelenen 15 STR+Amelegenin lokusu çalışmasının ardından elde edilen STR profilleri, birbiriyle karşılaştırılır. Babalığı sorgulanan kişi için 14 genetik özelliğe dışlamaya rastlanmaz ve biyolojik babalık ilişkisi kesinleşir. Ancak ilk raporda görüldüğü gibi, kız çocuk ile baba karşılaştırmasında bir STR lokusunda farklılık mevcuttur. D13S317 lokusu için annede 8-10, kız çocukta 8-8, babada 10-10 alellerinin varlığı belirlenir; incelenen 16 genetik özellik içinde sadece bu lokusta baba ile uyumsuzluk görüldüğünden, şüphe giderilemez ve ileri genetik analizler yapılmasına karar verilir. Baba ve kız çocuğunun DNA örnekleri için dizinleme yapılır. DNA dizinleme çalışması sonucunda babaya ait biyolojik örnekten elde edilen DNA dizinlerinde D13S317 lokusunda 8 ve 10 alelleri, baz sırası ve tekrar sayısı şeklinde net olarak takip edilir. Dolayısıyla babada D13S317 lokusunda 8 alelinin mevcut olduğu, incelenen belli teknik temelinde tespit edilemediği, ancak ileri tetkiklerle gözlemlenebilir olduğu; babalığı sorgulanan kişinin, kız çocuğunun %99,999 oranında biyolojik babası olduğu, ayrıntılarıyla aile bireylerine açıklanır ve durumla ilgili detaylı bir rapor hazırlanarak aileye teslim edilir.

Tartışma ve Sonuç

Babalık testi uygulamalarında çocukta görülen iki alelden birinin anneden, diğerinin babadan geldiği prensibine göre, incelenen her DNA-STR lokusunda çocuğun taşıdığı anneden gelen özellik, inceleme dışı tutularak (annelik bağının doğumla sabit olduğu ve babalığın sorgulandığı gerekçesiyle), diğer alelin baba adayında var olup olmadığına bakılır. Çoğunlukla rutinde incelenen 15 STR lokusu ile değerlendirme yapmaya yeterli nitelikte, kesinlik ve güvenilirlikte veri elde edilir. Buna göre, çocuk ve baba adayının her 15 STR lokusunda da taşıdıkları ortak aleller varsa, biyolojik babalık ilişkisi kurulur. Ancak kimi zaman incelenen 15 STR lokusunda çocuk ve baba adayları arasında ortak aleller olabileceği kadar, farklı aleller de mevcut olabilir ki; bu durum çocukla arasında bir babalık ilişkisinin var olmadığını gösterir (2). Bu noktada yapılan incelemelerin yorumlanması, bilimsel olarak önemli olduğu gibi; verilecek sonuçların sosyal ve hukuki açıdan da değeri tartış-

lamaz. Bununla birlikte kişilerde yaratacağı psikolojik durumlar açısından da babalık testi sonuçlarının, doğru, anlaşılır ve net bir şekilde yazılı ve sözlü olarak taraflara açıklanmasının önemi çok büyüktür.

İlk yapılan babalık testine ait raporda da (1. rapor) D13S317 lokusunda babada görülen 10 alelinin çocukta görülmemesi üzerine, bu lokusta babada olası bir mutasyon gözlemlendiği, mutasyon oranı dahil edilerek babalık indeksinin hesaplandığı rapora yansıtılmıştır.

Esasen DNA-STR lokuslarında gözlenen farklılıklar ve mutasyon oranları, araştırmacılar tarafından gerçekleştirilen çalışmalarla birlikte bilimsel elektronik veri tabanları üzerinden kullanıcılarla ayrıntılı olarak paylaşılmaktadır. Amerika Birleşik Devletleri Ticaret Bakanlığı'nın kurduğu Ulusal Standartlar ve Teknoloji Enstitüsü'ne bağlı olarak açılan DNA-STR internet veritabanı (STRBase), insan identifikasyonunda kullanılan STR lokuslarında gözlenen farklı durumların sunulduğu bu şekilde bir platformdur (<https://strbase.nist.gov/index.htm>). DNA analizlerini gerçekleştiren uzmanlar; STR analizlerinde farklılıklarla karşılaştıkları durumlarda, bu veri tabanları üzerinden araştırmalarını yapar, diğer bilimsel çalışmalara ulaşır ve istatistiksel hesaplamalarında bildirilen mutasyon oranlarını kullanırlar. STRBase üzerinden sunulan veriler ve bilimsel literatür incelendiğinde D13S317 lokusunda suskun (silent/null) aleller, primerin bağlandığı bölgede mutasyonlar, üç alelli durumlar veya büyük boyutlu aleller sebebiyle ortaya çıkabilecek, bilinenin dışında (off-ladder) aleller bildirilmiş (3-7), hatta bu tip durumlarda akrabalık olasılığı hesaplamaları için öneriler sunulmuştur (4).

Olgudaki bu ilk babalık testinde de laboratuvar bu yolu izlemiş ve gerekli açıklamalara raporda yer vermiştir. Burada belirtmek gerekir ki; Türkiye'den bir laboratuvarın aldığı bu biyolojik örnekler, yurt dışına gönderilerek orada çalışılmış ve sonuçlar Türkiye'deki laboratuvara iletilmiş, aile ile görüşme ve raporu sunma, Türkiye'deki laboratuvar tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak muhtemelen mevcut durum, aileye doğru ve yeterli biçimde açıklanamamıştır ki; aile neredeyse bir yıl sonra tekrar babalık testi yaptırmak için başka bir laboratuvara müracaat eder. Daha fazla sayıda genetik özelliğin incelendiği bu babalık testine ait raporda ise (2. rapor) D13S317 lokusunda babada 8-10 alellerinin olduğu belirtilmiş, çocuktaki 8 aleli ile eşleşmenin varlığı gösterilmiştir. Ancak aile, bir ön-

ceki raporda D13S317 lokusunda baba için ifade edilen 10-10 genotipinden farklı bir bilgi (8-10) ile karşılaştığı için; yapılan babalık testlerinin ve iki raporun da güvenilirliğinden endişe etmiştir. Bu noktada aileye durumla ilgili yine doğru bir bilgilendirme ve/veya açıklama yapılmadığı söylenebilir. Yaklaşık 1,5 yıl sonra yaşadıkları Avusturya'da yaptırarak babalık testi sonucu olarak aldıkları 3. rapor da 2. rapor gibi D13S317 lokusunda babanın genotipini 8-10 olarak göstermiştir. Aile durumu anlayamadığı gibi, olayın gittikçe çözümsüz bir şekilde dönüştüğünü de hissetmekte ve maddi-manevi durumdan olumsuz olarak etkilenmektedir. Dört ay sonra İstanbul Yeni Yüzyıl Üniversitesi Adli Tıp Laboratuvarı'na başvuru yaparak, daha önce alınmış raporlarla birlikte görüş almayı ve yeni bir babalık testi yapılmasını isteyen aile bireylerinin gerçekleştirilen DNA analizlerinde, D13S317 lokusunda babanın genotipi 1. rapordaki gibi 10-10 olarak belirlenmiştir. Mevcut durum, bir mutasyonu veya bir suskun aleli düşündürmüştür.

STR lokuslarının amplifikasyonu sırasında primer bağlanma bölgelerinde dizin varyasyonlarından kaynaklanan primerin bağlanamama ve o alelin çoğalamama durumu, alel düşmesi (allelic drop-out) ile sonuçlanır ve suskun alel (silent/null allele) olarak adlandırılır (8). Dolayısıyla -bu olgudaki babanın D13S317 lokusundaki gibi- genotipe heterozigot şekilde var olan iki alelden, amplifikasyonda sadece biri çoğaltılır, diğerine primer bağlanamadığı için çoğalamaz ve elektroforezde tespit edilemez, kişi homozigot olarak belirlenir ancak dizin analiziyle her iki alelin de varlığı belirlenir (9,10).

Bu çalışmada incelenen olguda da baba ve kız çocuğa ait örnekler, DNA dizin analizine tabi tutularak incelenir. Babaya ait DNA dizininde D13S317 lokusunda 8 ve 10 alelleri, baz sırası ve tekrar sayısı şeklinde net olarak takip edilir. Dolayısıyla babada D13S317 lokusunda 8 alelinin suskun alel olarak mevcut bulunduğu, başka bir deyişle bu genetik özelliğin babada bulunup ancak ileri tetkiklerle gözlemlenebilir olduğu raporda yazılı olarak ifade edilir. Durum aileye ayrıntılarıyla sözlü olarak da açıklanır ve endişelerinin giderilmesi sağlanır.

Hedman ve Palo (2015); çalıştıkları bir babalık testi olgusunda sadece D13S317 lokusunda dışlama gördüklerini, bunun bir suskun alel olabileceğini, üç farklı ticari kit ile yapılan DNA amplifikasyonlarının elektroforez sonuçlarının karşılaştırılmasında farklı kitlerde farklı lokuslarda üst üste çakışan uzun bir varyant alel sebebiyle böyle durumun görüldüğünü bildirmiştir. Varyantın dizinlenmesi, D13S317 lokusunda bir dublikasyonu açığa çıkar-

mış, böylece amplifikasyonda kullanılan geri-primerin bağlanabileceği ek bir kısa amplikon yaratmıştır. Bu sebeple bu durumun gözardı edilmesi durumunda, bu varyantta olduğu gibi genotipleme sonuçlarının yanlış yorumlanabileceğine dikkat çekilmiştir. Araştırmacıların bildirdikleri olguda gözlemler çok büyük bir sorun çıkarmasına da özellikle örnekler farklı kitler ile amplifikasyona tabi tutulduğunda önemli sorunlar görülmesinin olası olduğu vurgulanmıştır. Elektroforezde D13S317 lokusunun kısa amplikonu bir önceki lokusun aleli gibi, uzun amplikon ise bir sonraki lokusun aleli gibi algılanıp bu şekilde analiz edileceğinden; öncesi, kendisi ve sonrası olmak üzere üç lokusun tiplendirilmesinde yanlış yorumlamalara sebep olabileceği bildirilmiştir (6).

D13S317 lokusuyla ilgili söz konusu bu durumlar, biyolojik yakınlığın incelendiği, bireylerin birbiriyle karşılaştırıldığı akrabalık analizlerinde yanlış bir dışlamaya sebep olmaz, suskun alel, kalıtılmamış alel veya mutasyon olarak yorumlanır ve ileri tetkiklerle ortaya çıkarılabilir; ancak bu çalışmada incelenen olguda olduğu gibi aynı kişinin DNA profillerinde farklılık olarak görülür ve başvuruda bulunan kişilere açıklanamadığı takdirde maddi-manevi büyük zararlara sebep olur. Bununla birlikte, adli olgular veya kitlesel felaket mağdurlarının kimliklendirilmesi gibi birebir eşleştirme gerektiren durumlarda ise, DNA-STR lokuslarında farklılık görülmesi aynı kişiye ait örneklerin farklı kişilere ait olduğu şeklinde yanlış yorumlanmasına sebep olabilir. Bu sebeplerle adli genetik incelemelerle ilgili çalışan uzmanların, nadiren de olsa görülme olasılığı olan bu potansiyel karışıklık durumları hakkında mutlaka bilgi sahibi olması gerekir (6).

Bu çalışmada sunulan olguda görüldüğü üzere; her ne kadar bu olguda alınan üç raporda da "babalık ilişkisinin bulunduğu dair" sonuç verilmiş olsa da, incelenen STR lokuslarından birinde tespit edilen farklılık, aileye açıklanamadığı için ailenin durumla ilgili endişelerini gidermeye yetmemiş ve dördüncü kez bir başka laboratuvar da daha babalık testi yaptırarak sonuçları netleştirme çabasına dönüşmüş, hem maddi hem de yaşadıkları kaygılarla manevi olarak tüm aileyi yıpratmıştır.

Babalık testi sonuçlarının yorumlanması, verilere göre sadece "babadır" veya "babası değildir" şeklinde basite indirgenmemelidir. Bu olguda anlatıldığı üzere, elde edilen verilerde kimi zaman bireylerin aklını karıştıracak, endişeye sebep olacak, teknik olarak mümkün ve bilimsel olarak açıklanabilir durumlarla karşılaşabilmektedir. Benzer durumların yaşanmaması için; Türkiye'de babalık testi yapmakta olan laboratuvarlarda çalışan uz-

manların veya yurt dışı ile işbirliği yaparak örnekleri yurt dışında analiz ettirip raporu yazılı olarak Türkiye'de düzenleyen ve bireylere sözlü olarak raporla ilgili bilgilendirme yapan uzmanların, babalık testi sonuçlarını doğru yorumlamaları ve başvuran bireylere doğru ve net bir şekilde açıklamaları şarttır. Bu sebeple gerekli teorik ve pratik bilgiye sahip olmalarının yanında, daha önce yayınlanmış bilimsel çalışmaları araştırarak, alandaki gelişmeleri takip edecek ve kendilerini geliştirecek nitelikte olmaları gerekmektedir.

Çıkar Çatışması Beyanı

Araştırma yapılırken; veri toplanması, sonuçların yorumlanması ve makalenin yazılması aşamalarında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

Received Date/Geliş Tarihi: 05.01.2021

Accepted Date/Kabul Tarihi: 22.01.2021

Kaynaklar

1. Butler JM. Forensic DNA Typing: Biology, Technology, and Genetics of STR Markers. 2nd ed. New York: Elsevier Academic Press; 2005.
2. Butler JM. Genetics and genomics of core short tandem repeat loci used in human identity testing. *J. Forensic Sci.* 2006;51(2):253–65.
3. Grgicak CM, Rogers S, Mauterer C. Discovery and identification of new D13S317 primer binding site mutations. *Forensic Sci Int.* 2006;157(1):36–9.
4. Amorim A, Carneiro J. The impact of silent alleles in kinship probability calculations. *Forensic Sci Int. Genet Suppl Ser.* 2008;1(1):638–9.
5. Li F, Xuan J, Xing J, Ding M, Wang B, Pang H. Identification of new primer binding site mutations at TH01 and D13S317 loci and determination of their corresponding STR alleles by allele-specific PCR. *Forensic Sci Int Genet.* 2014;8(1):143–6.
6. Hedman M, Palo JU. Long D13S317 variant allele: A cautionary case report. *Forensic Sci Int Genet.* 2015;14:38–41.
7. Moretti T, Moreno L, Onorato A. Genotyping Errors in the FBI STR Allele Frequency Database Used for Estimating Match Probabilities in Forensic Investigations [Internet]. 2017 [cited 2020 December 20]. Available from: <https://www.nist.gov/system/files/documents/2017/08/23/anthonyonoratoTuesdayafternoonsession.pdf>.
8. Butler K, Aponte RA, Vallone PM, Butler JM. STR allele sequence variation : current knowledge and future issues. *Forensic Sci Int Genet.* 2015;18:118–130.
9. Kline MC, Hill CR, Decker AE, Butler JM. STR sequence analysis for characterizing normal, variant, and null alleles. *Forensic Sci Int Genet.* 2011;5(4):329–32.
10. Yao Y, Yang Q, Shao C, Liu B, Zhou Y, Xu H, et al. Null alleles and sequence variations at primer binding sites of STR loci within multiplex typing systems. *Leg Med.* 2018;30:10–3.