

Adli Bilimlerde Kapiler Elektrozefrez Uygulamalarında Son Gelişmeler

RECENT ADVANCES IN THE APPLICATIONS OF CAPILLARY ELECTROPHORESIS TO FORENSIC SCIENCE

Dr. Gülnaz TATLICI,^a Dr. Alpaslan KİBAROĞLU^b

^aİstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü,

^bMarmara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü, İSTANBUL

Özet

Adli Tıp dünyasında giderek artan özgün araştırmalar ve yayınlara paralel olarak, kapiler elektrozefrez yöntem ve uygulamalarına da yoğun bir ilgi mevcuttur. Bu derleme ile, adli bilimlerde kapiler elektrozefrez uygulamaları için temel bazı tanımlamalar gözden geçirilmekte ve yasa dışı ilaç kullanımı, patlama/silah atış artıkları, mükrek ve saç analizleri, DNA profillemesi, protein analizleri gibi bu tekniğin iyi bilinen uygulamalarının kullanımları hakkında özet bilgiler sağlanması amaçlanmaktadır. Günümüzde kapiler elektrozefrez teknolojisi, başta adli toksikoloji, adli biyoloji ve adli biyokimya olmak üzere çeşitli adli disiplinlerde etkili bir araç olmuştur. Adli ilaç ve zehir analizlerinde CZE (kapiler zon elektrozefrezi) ve MEKC (misellar elektrokinetik kapiler kromatografisi) gibi ayırım metodları sıklıkla tercih edilmektedir. Bu alanda uygulanan kapiler elektrozefrez analiz sonuçlarının, ESI-MS gibi ileri seviyeli kütle spektroskopisi sistemlerine adapte edilebilmesi de umut verici açılımlar getirmektedir. Ateşli silah artıklarının incelenmesinde çoğunlukla tercih edilen MEKC metodolojisi ile, organik katkı maddelerinin tayini mümkün olurken, CZE yöntemi ile, inorganik anyon ve katyonlara odaklanma şansı mevcuttur. CZE modu; mükrek kalıntıları, toksik özelliklere sahip olabilecek küçük iyonları, biopolimer ve protein analizleri için oldukça etkili bir yöntem olabilmektedir. DNA ve RNA temelli nükleik asit uygulamalarında kullanılan CGE temelli metodoloji ise, günümüzde STR temelli insan kimliklendirme uygulamalarında en sık ve yaygın kullanılan kapiler elektrozefrez yöntemlerinden birisidir. Bu teknik, bu alanda konvansiyonel elektrozefrez uygulamalarının otomasyonunu sağlamış olması nedeniyle, hızlı ve güvenilir bir alternatiftir. Özetle, kapiler elektrozefrez teknolojisi, diğer yaşam bilimleri alanlarında olduğu gibi adli bilimlerde de, bir çok ihtiyaçlara aynı anda ve hassas biçimde cevap verebilen bir araç olarak değerlendirilebilir. İnorganik iyonlardan büyük DNA parçalarına ve hatta mikroorganizma analizlerine dek, geniş bir spektrumda uygulama alanına sahip olması, kapiler elektrozefrez teknolojisini adli olaylarda karşılaşılan bir çok analitik problemlerin çözümünde yardımcı olabilecek uygun bir araç haline getirmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kapiler elektrozefrez, adli tıp

Türkiye Klinikleri J Foren Med 2006, 3:65-71

Geliş Tarihi/Received: 14.04.2006 **Kabul Tarihi/Accepted:** 23.06.2006

Yazışma Adresi/Correspondence: Dr. Gülnaz TATLICI
İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü
İSTANBUL
gtatllici@yahoo.com

Copyright © 2006 by Türkiye Klinikleri

Türkiye Klinikleri J Foren Med 2006, 3

Abstract

As original and creative researches and publications in forensic science increase, there is a special interest in applications and procedures of capillary electrophoresis. In this article, we will aim at providing basic information about applications of capillary electrophoresis in forensic science especially in the areas of illegal drug use, explosion and gunshot residues, ink and hair analyses, and DNA profiling and protein analysis. The technology of capillary electrophoresis and its applications in today's forensic science area especially in forensic toxicology, forensic biology and forensic chemistry are much appreciated and commonly used. The two methods of choice in forensic drug and poison separation techniques are CZE and MECK. One expansion of application of capillary electrophoresis is possibility of adaptation of its analysis results in advanced level ESI-MS mass spectroscopy. Even though MECK technology is preferred method used in gunshot residue investigations, it can also be used in identifying broken organic material while CZE method's focus is to identify inorganic anions and cat ions. CZE also is a very effective method used in ink residue studies, small ions possessing toxic characteristics, biopolymer and protein analysis. If CGE methodologies are used in DNA and RNA nucleic acid application investigations, presently STR is the most popular and frequently used capillary electrophoresis method in human remains studies. Because of automation conventional electrophoresis applications, this technique is becoming a fast and dependable alternative in this field. In summary, capillary electrophoresis technology is as useful and effective in the forensic science area as it has been in other life science areas. Productive and useful as capillary electrophoresis is in analysis of large DNA particles and small microorganisms, its transformation into a reliable vehicle in answering forensic science's analytical problems is unavoidable.

Key Words: Forensic Medicine; electrophoresis, capillary

Kapiler Elektrozefrez

Kapiler elektrozefrez (KE) yöntemi, yaklaşık 25 yıl kadar önce geleneksel elektrozefretik uygulamaların kapiler kanal içinde optimizasyonunu sağlamak üzere geliştirilmiş

bir tekniktir. Bu yöntem, 1990'lı yılların başından beri, değişik uygulamalara açık ve otomatize edilmiş olması nedeniyle, başta kimya, biyokimya, farmakoloji, toksikoloji ve tıp bilimlerini kapsayan çeşitli bilimsel alanlarda pratik ve yaygın bir biçimde kullanılmaktadır. KE yöntemini kullanan cihazların en büyük avantajlarından birisi, ayırma yöntemleri tamamen farklı fizikokimyasal mekanizmalar üzerine kurulmuş olsa bile, aynı ekipman ile küçük inorganik iyonlardan büyük polimerlere kadar bir çok farklı moleküllerin ayrılmasını mümkün kılmalarıdır. Ayrıca günümüzde oldukça ileri teknolojiye sahip, kolay kullanımlı ve çok etkili sistemler ile çalışma imkanı mevcuttur.¹ Bununla birlikte, bu derlemenin temel konusu olan adli bilimlerde kapiler elektroforez uygulamaları açısından bakıldığında, kanıtların hukuksal açıdan analizi için de avantaj sağlamaktadır. Biz bu incelemede sadece KE'in; adli tıp açısından analitik yönünü gözden geçireceğiz ve bu okadar geniş bir alanı kapsamaktadır ki; içinde adli toksikoloji, kişisel identifikasyon, silah ateşleme kalıntıları ve patlayıcı elemanların analizi, tükenmez ve dolma kalem mürekkeplerinin analizi vb. yer almaktadır.

Bir kapiler elektroforez sistemi temel olarak; bir örnek ya da tampon enjeksiyon modülü, bir kapiler kanalı, bir yüksek voltaj kaynağı (0-30 kV), elektrodlar ve dedektör sisteminden kuruludur. Separasyon işlemi kapilerde gerçekleşir ve kapiler aynı zamanda enjeksiyon ve dedeksiyonun da meydana geldiği yerdir. İdeal bir kapiler, kimyasal ve fiziksel olarak dirençli, iç çapı açısından (tipik olarak 20-100 µm) uygun biçimde üretilmiş, adsorbe bileşenlere yanıt vermeyen tipte, UV-VIS radyasyona karşı şeffaf ve yüksek ısı iletkenliğine sahip olmalıdır. KE sistemi ile, basit bir kaç modifikasyonla sağlanabilecek (kapiler tipi, dedektör sisteminin özellikleri ve kullanılan tampon çözeltiler gibi çeşitli fiziko-kimyasal özellikler), farklı seperasyon teknikleri geliştirilip kullanılabilir. Genel olarak bu teknikler; kapiler zon elektroforezi (CZE), misellar elektrokinetik kapiler kromatografisi (MECC ya da MEKC), kapiler elektrokromatografi (CEC), kapiler izoelektrik odaklama (CIEF), kapiler jel elektroforezi (CGE), kapiler izotakoferez (CITP)

ve kapiler elektroforetik immunoassay (CEIA) uygulamaları olarak özetlenebilir.

Yasadışı İlaç Kullanımı ve Adli Toksikolojide KE

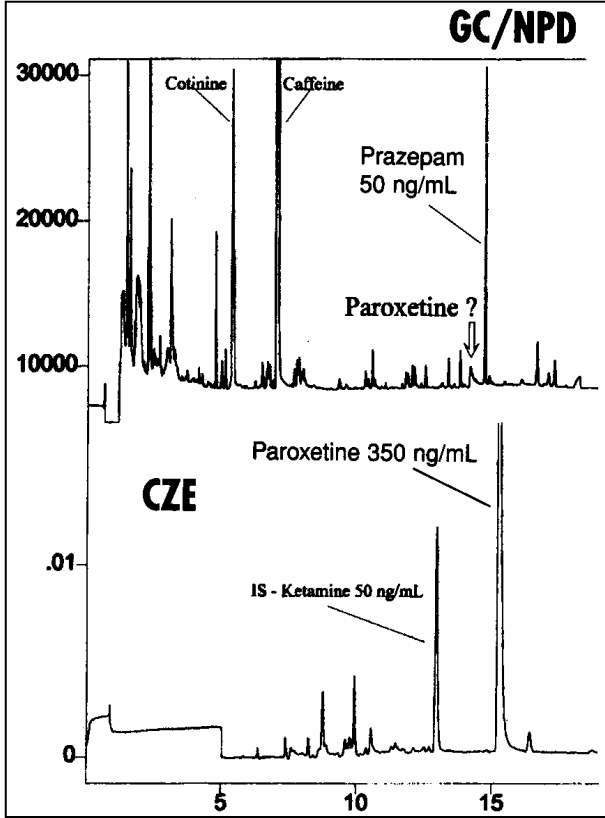
Adli ilaç analizi tipik olarak iki bölümden oluşur: 1- Yasak ve/veya kontrol edilen ilaçlar 2- Biyolojik doku ve sıvıların analizi ile ilgili olan akut veya kronik intoksikasyonların nedenlerinin tanımlanmasında kullanılan tekniklerdir.

Yukarıdaki her iki alan 1991 yılında ilk kez Weinberger and Lurie² tarafından uygulamaya sokulmuş ve günümüze kadar adli tıpla ilgili ilaçların saptanmasında çok yararlı olmuştur.

Farmasötik araştırma/geliştirme ve ilaç analizlerinde vazgeçilmez uygulama alanları olan KE, günümüzde hem biyolojik örneklerde hem de gizli preparasyonlarda yasadışı ilaç kullanımı analizi için de kullanılmaktadır.^{1,3} MECC tekniği; psilosibin, morfin, fenobarbital, psilosin, kodein, metakualon, liserjik acit dietilamid (LSD), eroin, amfetamin, klordiazepoksid, kokain, metafetamin, lorazepam, diazepam, fentanil, fensiklidin, kannabinol ve tetrahidrokannabinol'u da içeren çok sayıdaki ilaç bileşenlerinin seperasyonunu başarmaktadır. MECC yönteminde ayrıca UV dedektörü ile tayin, örneğin eroin ve kokain gibi yasadışı preparasyonlarının analizi için hızlı ve detaylı sonuç sağlayabilmektedir.

MECC'nin, yüksek performanslı sıvı kromatografisi (HPLC) ve gaz kromatografisi (GC) ile karşılaştırılması da, iyi bir kantatif korelasyon göstermiştir. KE yönteminin hassasiyeti HPLC ile olduğu kadar iyi olmasa da, kompleks örneklerin çözümü için KE'nin etkinliği üstündür. Ayrıca, KE'nin, laboratuvarlar arası yeterlilik testlerinde yasadışı eroin ve kokain testlerinde son derece güvenilir olduğunu kanıtlanmıştır.⁴⁻⁶

Uyuşturucu incelemelerinde CZE uygulamaları da, MECC'ye alternatif getirmektedir. CZE ile sadece 11 dk.da, adli tıp açısından önemli olan metapirilen, bromfeniramin, amfetamin, metafetamin, prokain, tetrahidrozolin, fenmetrazin, bütakain, medazepam, lidokain, kodein, asepromazin, meklizin, diazepam, doksapram, benzokain ve



Şekil 1. CZE ve GC/NP yoluyla analiz edilmiş Paroxetine örneği.⁸

metakualon da dahil olmak üzere 17 temel uyuşturucu separasyonu gerçekleştirilmiştir.⁷ CZE, uyuşturucu inceleme konusunda, özellikle basit elektrolit preparasyonu ve daha kısa analiz süresine sahip

olması nedeniyle MECC'ye karşı avantajlara sahip olabilir. Kan numunelerinin hızla incelenmesini kolaylaştıracak biçimde, 550 kadar baz (100 mM fosfat, pH 2.38) ve 100 kadar asidik uyuşturucu (pH 8.50) için CZE mobiliteyi saptanmıştır.¹ Bu yöntemin başlıca sınırlaması asidik, nötr ve bazik uyuşturucuları aynı anda analiz edememesidir ki, bu da MECC ile mümkündür.¹ Dolayısıyla bir metottan kaynaklanabilecek kısıtlamalar diğer bir kapiler elektroforez metodu ile giderilebilmektedir. Adli toksikoloji açısından da daha çok CZE yöntemi, giderek artan biçimde gerek gaz kromatografisinin (GC) gerekse nitrojen-fosfor (NP) tayininin yerini almaktadır.^{7,8} Şekil 1'de, problematik bir vakada, paroksetin (Paxel, SmithKline Beecham) analizinde GC ve NP'ye göre, CZE elektroforegramı ile sağlanan hassas ayırım karşılaştırmalı olarak gösterilmektedir.⁸ Bununla birlikte, adli açıdan bir çok organik bazın, kandaki 10 ng/ml seviyelerindeki tayinleri ile CZE henüz beklenen hassasiyetleri sağlayamayabileceğinden ve flunitrazepam ve triazolam gibi zayıf bazik benzodiazepinler için GC/NP uygulamalarının geçerliliği unutulmamalıdır.

Biyolojik sıvılarda, adli açıdan ilgi uyandıran maddeler ve tayinleri açısından önerilen metot önerileri Tablo 1'de özetlenmektedir.

Saç analizi de adli tıp toksikolojisinde önemli bir uygulamadır ve özellikle yasadışı ilaçlara (u-

Tablo 1. Biyolojik sıvılarda adli açıdan incelenebilecek ilaçların analizi için seçilmiş kapiler elektroforez metodları.¹

Analit	Örnek/örnek hazırlanması	Metod
Benzolekgonin, morfin, eroin, 6-MAM, kodein, methamfetamin, amfetamin, kokain, methadon, methakualon, benzodiyazepines	İdrar/SFE	MECC
Barbital, allobarbital, fenobarbital, butalbital, tiyopental, amobarbital, pentobarbital	İdrar/SFE Serum/direkt	MECC
11-nor-delta-9-tetrahidrokannabinol-9-karboksilik asit (THC metaboliti)	İdrar / SFE, hidroliz	MECC
Morfin-3-glukuronid	İdrar/SFE	MECC/CZE
Efedrin, norefedrin	İdrar/direkt	CZE
Asebutolol, alprenolol, atenolol, labetalol, metoprolol, nadolol, timolol oksprenolol, pindolol, propranolol	İdrar/direkt veya SFE	MECC
Metaprilin, brofeniramin, kodein, lidokain, amfetamin, metamfetamin, meklizin, prokain, tetrahidrozolin, fenmetrazain, butakain, medazepam, asepromazin, diyazepam, doksapram, benzokain, metakualon	İdrar/SSE Serum/SSE	CZE
Flunitrazepam, diazepam, midazolam, klonazepam, bromazepam, temazepam, oksazepam, lorazepam	İdrar/SFE	MECC
Metadon, EDDP (idrar metaboliti)	İdrar/SFE	CZE
Klenbuterol	İdrar/SSE	CZE
26 trisiklik ilaçlar, imipramin, promazin, amitriptilin, klozapin, amiyodaron, klorpromazin vb	İdrar/SSE	MECC
Folkodin, 6-MAM, morfin, eroin, kodein, dhidrokodein	İdrar/SFE	CZE
LSD, nor-LSD, iso-LSD, iso-nor-LSD	Kan/SSE	CZE
Amfetamin, methamfetamin	İdrar/SSE- SFE	CZE

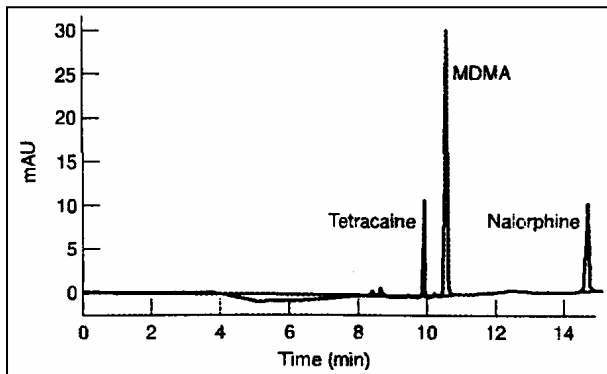
yuşturuculara) önceden kronik bağılılığı aydınlatmaktadır. Olağan analitik strateji; saç ekstraksiyonuna, ekstat pürifikasyonuna, imünolojik uyuşturucu araştırmasına ve kromatografik onaya (GC, GC-MS, HPLC) dayanmaktadır. Bu amaca yönelik olarak da KE tekniği, saç örneğine minimal ihtiyaç duyması ve özgün bir ayırıştırma mekanizması olması açısından avantajlar sağlamaktadır.

Kaplanmamış silika kapileri üzerine kurulu CZE yöntemi kullanılarak, 50 mM borat tamponu, pH 9.2'de UV dedeksiyonu ile kokain (238 nm) ve morfinin (214 nm) aynı anda tayini mümkün kılınmaktadır. Bu yönteme özgü spesifik tekniklerin kullanımı, saçtaki uyşturucuların UV spektrumunda 100-kat hassas biçimde tayin edilmelerine imkan verebilmektedir (Şekil 2).⁹

Modern analitik toksikolojide kütle spektrometrisinin (MS) önemli rolü nedeniyle, kapiler elektroforez-kütle spektroskopisi (CE-MS) birleşimi büyük bir açılım getirmektedir. On-line biçimde CE-MS sistemlerinin 1980'li yılların ardından geliştirilmesinden bugüne, bu detay gerektiren işbirliği hem farmasötik hem de adli tıp toksikolojisinde giderek daha fazla önem kazanmaktadır.^{10,11}

Silah Ateşleme Kalıntılarının ve Patlayıcı Elemanların Analizi

Silah ateşleme kalıntılarının ve patlayıcı elemanların analizi, bilgi alma veya mahkeme



Şekil 2. Bir 'ecstasy' kullanıcısından alınan saç numunesi ekstat elektroferogramı, 4.0 ng mg⁻¹ konsantrasyonunda 3,4-metilendioksimetamfetamin (MDMA) içermektedir. Dahili standartlar olarak tetrakain ve nalorfin kullanılmıştır.⁹

amaçlarına yönelik olarak, adli tıp biliminin temel alanıdır. Son derece önem taşıyan gerek inorganik gerekse organik bileşenler, elektron mikroskopi, nötron aktivasyon analizi, kütle spektrometrisi, röntgen ve kızıl ötesi teknikler ve her türlü kromatografi de dahil olmak üzere günümüzde en sofistike tekniklerle analiz edilmektedir. KE özellikle organik ve inorganik bileşimlerin analizinde daha gelişmiş yöntemlerle birlikte kullanılabilir.

1990'larda MECC, tekrar doldurulan barutlarda, patlayıcı maddelerde ve silah ateşleme kalıntılarındaki temel organik katkı elemanlarının seperasyonu ve tayininde kullanılmaya başlanmıştır.^{10,12} Silah ateşleme kalıntısı içinde yaklaşık 11 kadar bileşenin (nitroguanidin, nitrogliserin, 2,4-dinitrotoluen (DNT), 2,6-DNT, 2,3-DNT, 3,4-DNT, difenilamin (DPA), N-nitrozoDPA, 2-nitroDPA, etilsentralit ve dibütül fitalat) ve 15 yüksek-patlayıcı özellikteki katkı elemanının (nitroguanidin, etilen glikol dinitrat, 1,3,5-trinitro-1,3,5-triazasikloheksan (RDX), nitrogliserin, 2,4,6-trinitrotoluen (TNT), pentaeritrol tetranitrat, pikrik asit gibi) seperasyonu 10 dk. gibi kısa bir sürede gerçekleştirilmektedir. Ayrıca, KE analizi (MECC) için silah ateşleme kalıntılarının, yapıştırıcı bant kullanımı ile toplanmasına dayalı spesifik numune toplama prosedürleri geliştirilmiştir. Bu tür prosedürler de geleneksel yöntemlere göre üstünlük sağlamaktadır. Kapiler analiz; el yapımı, bir başka deyişle düşük güçlü patlayıcıların değerlendirilmesi açısından da, patlamadan arta kalan anyon ve katyonların incelenmesini kolaylaştırarak kullanılan patlayıcı karışımı tipini ve kaynağını saptamaya yardım etmektedir.^{11,12} Her ne kadar iyon kromatografisi bu maksada yönelik geleneksel bir araç olsa da, KE yararlı bir tamamlayıcı yöntem olarak kabul edilebilir. Benzer yaklaşımlar CZE yöntemini kullanarak, klorat veya emülsiyon patlayıcıların patlama sonra kalıntıları olarak, örneğin nitrat, klorat ve amonyum gibi inorganik anyon ve katyonların saptanmasında da kullanılmaktadır.^{11,12}

Son zamanlarda patlayıcı analizinde hızla gelişmekte olan mikroçip elektroforez teknolojisi

kullanılmaktadır. Hareket edebilen, kontaktlens detektörlü yeni bir mikroçip CE; Wang ve ark. tarafından geliştirilmiştir.¹³ Özellikle düşük enerjili iyonik patlayıcıların analizinde test edilmiştir. Bilim adamlarına göre yeni detektör dizaynı sabit lokasyonlu detektörlere göre oldukça avantajlı bulunmuştur.

Tükenmez ve

Dolma Kalem Mürekkeplerinin Analizi

Adli tıp laboratuvarlarında, mürekkep içeriğini araştırmak için TLC, kolon kromatografisi ve manuel jel elektroforezi yöntemlerinin yanı sıra, KE yöntemi de çok etkili sonuçlara ulaştırmaktadır. Yine CZE yöntemi ile çok çeşitli mürekkep örneklerinin çok sayıda bileşenleri analiz edilebilmektedir. Ancak, kurutulmuş kağıt-ekstresi mürekkep örneklerinden alınan sonuçlar, çok etkili olmayabilir.

Biyopolimerlerin Ayırıştırılması

Proteinler: KE yöntemleri, peptid ve protein analizleri için geniş kapsamlı kullanım alanına sahip olmasına karşın, ancak son bir kaç yıl içerisinde adli tıp bilimlerinde ilgi uyandırmaya başlamıştır. Bu konuda temel araştırma konusu, kronik alkol kullanımının teşhisine yöneliktir. Her ne kadar akut etanol intoksikasyonu, kan konsantrasyonlarının ölçülmesi ile teşhis edilebiliyor olsa da, kronik/subkronik aşırı kullanımın teşhisi hala bir sorundur. Bu amaçla, etanol metabolitler, enzimler, asetaldehid kanıtlar, HDL-kolesteroller, 5-hidroksitriptofol ve 5-hidroksitriptofol-3-asetik asit, dolikoller ve benzeri yöntemler önerilmektedir. Bunlar arasında karbohidrat-eksik transferrin (CDT), sürekli aşırı alkol tüketiminin kanıtı olarak en güvenilir hedeftir.^{11,14} Başlıca insan transferrin izoformu (> %90), dört sialik asit kalıntıları içermesine rağmen, aşırı alkol kullanımının bir sonucu olarak, daha az glikozilatlı izoformları (disialo-ve asialo transferrin) artmakta ve tümü birden ile CDT olarak adlandırılmaktadır. Mekanizması tam olarak bilinmese de, bir veya iki hafta boyunca aşırı alkol kullanımı ile artan CDT, yaklaşık 15 günlük yarı ömre sahiptir. CDT'nin KE yöntemi ile (CZE) analizi klinik vakalarda optimize edilmiştir

ve bu yöntemin adli tıpta uygulanması artmaktadır. KE analizi ile proteinlerin değerlendirilmesi açısından bakıldığında, adli tıpta fenotipik markerler olarak kullanılacak insan proteinleri arasında, hemoglobinler, tükürük ve semen proteinleri de sayılabilir.

DNA parmak izleri: Modern adli tıpta DNA analizinin hayati önemi (şahıs tanımlama, babalık testi) tartışmasızdır. Bununla birlikte, bu alanda KE uygulamalarının, özellikle nükleik asitlerin analizinin (DNA dizi ve fragment analizleri) kullanılması giderek yaygınlaşmaktadır. DNA polimorfizmlerinin analizi, bugün büyük ölçüde uzunluk polimorfizmlerinin ve sekans varyasyonlarının üzerine odaklanmıştır. Uzunluk polimorfizmleri şimdiye kadar insanları tanımlamak için kullanılan genetik çeşitliliğin en önemli sınıfıdır. Agaroz veya poliakrilamid plaka jeller üzerindeki elektroforez, bireysel genotipleri saptamak için kullanılan geleneksel bir prosedürdür. Genellikle, hedeflenen PCR'nin kısa (1000 baz çiftinden az uzunlukta AFLP'ler) veya çok kısa (200 baz çiftine kadar STRler) ürünleri, KE tekniği ile de hızlı, güvenilir ve tekrarlanabilir sonuçlar elde edilebilmektedir. Geleneksel jel elektroforezi ile KE seperasyonunda, moleküler ayırıştırma mekanizmaları aynıdır (CGE).^{11,15,16} Ayrıca, bu tür uygulamalarda KE kullanımının değerli bir avantajı da, daha önce de bahsedildiği gibi otomatize edilmiş ve kolay tekrarlanabilir oluşudur. CGE sisteminin kullanıldığı kapiler elektroforetik nükleik asit analizlerinde, PCR ile çoğaltılmış DNA'nın LIF (lazer iel indüklenen floresan) dedektörler ile teşhisi gerektiğinden, PCR ürünleri ya floresan primerler kullanılarak etiketlenmeli ya da floresan boyalarla işaretlenmelidir. Bu prosedürlerle, adli tıp genetik tiplendirmelerinde bir çok örnek detaylı özellikleri ile başarıyla incelenmektedir. Özellikle DNA fragment analizi ve DNA dizi analizi için tam otomatik KE sistemlerinin devreye sokulmasıyla bu analizler oldukça hızlandırılmıştır.^{10,11}

Adli Tıpla İlgili Küçük İyonlar

Adli tıpla ilgili iyonlar; potansiyel olarak toksik ağır metalleri ve organik iyonları, siyanü-

rü, boğulmanın indikatörü olan strongsiyumu, postmortem ölüm zamanının belirtisi olan vitreous sıvının katyonlarını, vb. içermektedir. Duyarlılığın kısıtlı olmasına rağmen, direkt ve indirekt CE ile saptanabilir, prensip olarak yukarıda sayılan amaçlar için bazı yeni makaleler gösterilebilir.^{17,18}

Siyanür adam öldürme, intihar ve teröristik zehirlenmelerde kullanılan ve yangından salınan önemli toksikantlar olarak bilinen bir madde-dir. Kronik intoksikasyon vakalarında rapor edilmiştir.

İdrarda nitrit analizi için basit bir metod geliştirilmiştir. Bu teknik; 25 mM fosfat tamponu pH 7.5 ve 214 nm direkt UV deteksiyonu; -25 kV voltaj ile uygulanır. Bu şartlar altında sadece idrar dilüsyonu ve santrifüjasyonu ile örnek enjeksiyonu uygulanır. Sadece yüksek klorid konsantrasyonları nitrit analiziyle interfere bulunmuştur.¹⁹

Sonuç

Yeni bilimlerin veya bilim araçlarının kullanılmasına dair izin sağlayan ABD mahkemelerindeki bir tartışmada;

“Hukuki süreç ve adli tıp için KE’nin ekonomik ve etkili avantajları bilindikten sonra, KE analizi üzerine dayalı (uzman) bilirkişi yeminli ifadesi kullanılabilir. Daubert’in yasal kriterleri, bilimsel topluluklarca karşılandığı sürece, CE’yi ve diğer yasal bilimsel işlemleri kabul edilebilir yeminli ifade üzerine kanıt olarak benimseyecektir” fikri vurgulanmıştır.¹⁶

Çok yönlülük, (çeşitli uygulama alanlarında kullanılabilir olması nedeniyle) muhtemelen KE’nin en belirgin özelliğidir. Hatta, ‘yeni bir analitik araç’ olarak değil de seperasyon bilminde yeni bir ‘boyut’ olarak kabul edilmektedir. Tamamlayıcılık, diğer yerleşmiş tekniklerle (spektroskopik, kromatografik, kütle-spektrometrik, elektroforetik) birlikte kullanılabilir oluşu ve küçük miktarda numuneleri analiz etme yeteneği, adli tıp açısından KE analizlerinin diğer önde gelen özelliğidir. Ayrıca, KE’nin, disiplinler arası

(immünokimyasal mültianalit ilaç-uyuşturucu tahlilleri, bir çip üzerinde KE gibi), yaklaşımlara gerek duyan muazzam bir yenilenme potansiyeli de vardır ki bunlar adli tıp bilimlerine de farklı ufuklar kazandırabilir.

Sonuç olarak, adli tıp bilimcileri KE’nin yeni kavramlarıyla daha aşına oldukları zaman, bu büyüleyici teknik adli tıp uzmanlarının elinde günlük bir iş olarak ‘normal’ hale gelecektir ve artık akademisyenlere daha yakın olan bir teknik olarak görülmeyecektir.

KAYNAKLAR

1. Tagliaro F, Pascali VL. Analytical Techniques. In: Capillary Electrophoresis in Forensic Science. Academic Press. 2000. p.135-46.
2. Weinberger R, Lurie IS. Analytical Chemistry 1991;263:823-7.
3. Altria KD. Capillary electrophoresis for pharmaceutical research and development. LG-GC International 1993;6: 616-9.
4. Tagliaro F, Turrina S, Pisi P, Smith FP, Marigo M. Determination of illicit and/or abused drugs and compounds of forensic interest in biosamples by capillary electrophoretic/electrokinetic methods. Journal of Chromatography 1998;713:27-49.
5. Terabe S. Electrokinetic chromatography: An interface between electrophoresis and chromatography. Trends in Analytical Chemistry 1989;8:129-34.
6. Tagliaro F, Pascali VL. Capillary electrophoresis in the forensic sciences. Forensic Science International 1998;92: 73-280.
7. Chee GL, Wan TSM. Reproducible and high-speed separation of basic drugs by capillary zone electrophoresis. Journal of Chromatography 1993;612:172-7.
8. Hudson JC, Golin M, Malcom M, Whiting CF. Capillary zone electrophoresis in a comprehensive screen for drugs of forensic interest in whole blood: An update. Canadian Society of Forensic Science Journal 1998;31: 1-19.
9. Hudson JC, Murray J, Malcom M, Golin M. Advancements in forensic toxicology: CZE replaces GC/NPD as the screen of choice for basic drugs: An Application Information for Capillary Electrophoresis 1999.
10. Tagliaro F, Manetto G, Crivellente F, Scarcerlla D, Mango M. Hair analysis for abused drugs by capillary zone electrophoresis with field-amplified sample stacking. Forensic Science International 1998;92:201-11.
11. Li SFY. Capillary Electrophoresis, Principles, Practice and Applications. Amsterdam: Elsevier 1994.

12. McCord BR. Capillary electrophoresis in forensic science. *Electrophoresis* 1998;19:1-124.
13. Wang J, Chen G, Muck AJr. Movable contactless conductivity detector for microchip capillary electrophoresis. *Analytical Chemistry* 2003;75:4475-9.
14. Von Heeren F, Thormann W. Capillary electrophoresis in clinical and forensic analysis. *Electrophoresis* 1997;18:2415-26.
15. Northrop DM, McCord BR, Butler JM. Forensic applications of capillary electrophoresis. *Journal of Capillary Electrophoresis* 1994;1:158-68.
16. Tagliaro F, Smith FP. Forensic capillary electrophoresis. *Trends in Analytical Chemistry* 1996;10:513-25.
17. Willauer HD, Collins GE. Analysis of inorganic and small organic ions with the capillary electrophoresis microchip. *Electrophoresis* 2003;24:2193-207.
18. Timerbaev AR. Capillary electrophoresis of inorganic ions: An update. *Electrophoresis* 2004;25:4008-31.
19. Kinkennon AE, Black DL, Robert TA. Analysis of nitrite in adulterated urine samples by capillary electrophoresis. *Forensic Science* 2004;49:1094-100.