

Postmortem İnterval Tayininde Göz ve Göz İçi Sıvısının Kullanımı: Derleme

Use of the Eye and Vitreous Fluid in Postmortem Interval Estimation: A Review

Burak Kaya¹

¹ Adli Tıp Kurumu, Artvin Adli Tıp Şube Müdürlüğü, Artvin, Türkiye

Atf: Kaya B. (2024). Postmortem İnterval Tayininde Göz ve Göz İçi Sıvısının Kullanımı: Derleme. *Van Sağlık Bilimleri Dergisi*, 17(3),183-188.

ABSTRACT

Objective: The time between death and examination is defined as postmortem interval (PMI) and is one of the important questions that need to be answered in forensic medicine practice. In estimating the PMI, changes such as livor mortis, rigor mortis, and algor mortis are mainly used, and limited information about PMI is obtained according to these findings. The eye and vitreous fluid are also one of the body parts frequently examined in PMI estimation. In our study, it was aimed to gain a forensic perspective by examining the studies on the use of the eye and vitreous fluid in PMI estimation, which is one of the important issues that need to be explained in the field of forensic medicine, in the light of the current literature.

Theoretical Framework: Studies have shown that the change in corneal opacity, thickness and endothelial cell density is correlated with PMI, but is affected by factors such as environmental conditions, age, whether the eyelids are closed or not, and lack of standardization. It has been emphasized that potassium, among the electrolytes in the vitreous fluid, is the most reliable method in estimating PMI, but it should be evaluated together with other methods in estimating PMI. Among amino acids, it has been reported that only tryptophan level is associated with PMI.

Conclusion: Many methods have been researched in PMI estimation in the light of today's scientific data, and the eye and vitreous fluid have also been the subject of frequent research on this subject. Although many studies have been conducted on the eye and vitreous fluid, it seems that the desired results cannot be obtained. Many factors such as the cause of death, the season and weather conditions in which death occurred, ambient temperature, the age of the deceased, existing diseases, intraocular surgical operations, body structure, metabolic status, and whether the eyelids are closed or not, affect this situation. It is thought that applying more than one method together instead of applying only one method in PMI estimation will give more accurate results.

Keywords: Death Time, Postmortem Interval, Eye, Vitreous Fluid,

ÖZET

Giriş: Ölümün meydana gelmesi ile ölü muayenesi arasında geçen süre postmortem interval (PMI) olarak tanımlanmakta olup adli tıp pratiğinde cevaplanması gereken önemli sorulardan biridir. PMI tayininde temel olarak ölüm sonrası gelişen ölü lekeleri, ölü sertliği, ölü soğuması gibi değişimlerden faydalanılmakta olup bu bulgulara göre PMI hakkında sınırlı bir bilgi edinilmektedir. Göz ve göz içi sıvısı da PMI tayininde sıklıkla incelenen vücut bölümlerinden biridir. Çalışmamızda adli tıp alanında açıklanması gereken önemli konulardan olan PMI tayininde göz ve göz içi sıvısının kullanımı ile ilgili yapılmış çalışmalar güncel literatür ışığında incelenerek adli bakış açısı kazanılması amaçlanmıştır.

Teorik Çerçeve: Yapılan çalışmalarda korneadaki opasite, kalınlık ve endotel hücre yoğunluğundaki değişiminin PMI ile korele olduğu, fakat PMI tayininin ortam koşulları, yaş, göz kapaklarının kapalı olup olmaması ve standardizasyon eksikliği gibi faktörlerden etkilendiği görülmüştür. Göz içi sıvısındaki elektrolitlerden potasyumun PMI tayininde en güvenilir yöntem olduğu, fakat PMI tayininde diğer yöntemlerle birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmıştır. Aminoasitlerde ise sadece triptofan seviyesinin PMI tayini ile ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Sonuç: PMI tayininde günümüz bilimsel verileri ışığında birçok yöntem araştırılmış, göz ve göz içi sıvısı da bu konuda sıklıkla araştırma konusu olmuştur. Göz ve göz içi sıvısında birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte istenen düzeyde sonuçlar alınmadığı görülmüştür. Ölüm nedeni, ölümün gerçekleştiği mevsim ve hava koşulları, ortam sıcaklığı, ölenin yaşı, var olan hastalıklar, göz içi cerrahi operasyonlar, vücut yapısı, metabolik durum, göz kapaklarının kapalı olup olmaması gibi birçok faktör bu durumu etkilemektedir. PMI tayininde sadece bir yöntemi uygulamak yerine birden fazla yöntemin birlikte uygulanmasının daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Anahtar kelimeler: Ölüm Zamanı, Postmortem İnterval, Göz, Göz İçi Sıvısı

* Sorumlu yazar: Burak Kaya. E-mail: buraktrkaya@gmail.com

ORCID: Burak Kaya: 0000-0003-3324-7045

Geliş: 14.05.2024, Kabul: 16.09.2024 ve Basım:30.12.2024



GİRİŞ

Ölüm temel olarak “somatik ölüm” ve “hücrel ölüm” olarak ikiye ayrılır. Somatik ölüm; vücudun bir bütün olarak değerlendirilerek öldüğünün kabul edilmesi, hücrel ölüm ise; doku, organ ve hücrelerin fonksiyonlarının sona ermesi şeklinde tanımlanmaktadır. Ölümün meydana gelmesi ile ölü muayenesi arasında geçen süre postmortem interval (PMI) olarak tanımlanır ve PMI tayini, adli tıp pratiğinde cevaplanması gereken en önemli sorulardan biridir (Emiral ve ark., 2021).

Ölüm zamanı bilinmeyen adli olaylarda ölüm zamanının belirlenmesi hukuki açıdan önemlidir. Ceza hukuku açısından kesin bir PMI; cinayetin zamanını belirlemeye, tanık ifadelerini doğrulamaya, şüpheli sayısını sınırlamaya ve şüpheli ifadelerini değerlendirmeye yardımcı olmaktadır. Akrabalık bağı bulunan birden fazla kimsenin ölü bulunmaları halinde, hangisinin daha önce öldüğü miras hukuku yönünden önemlidir. Ölüm zamanı tespitinin ticaret hukukunda da birçok sorunun çözüme kavuşmasında önemli bir yeri vardır. Ayrıca bazı sigorta ve miras gibi hukuk davalarında ölüm zamanı kovuşturmayı yönlendirecek oldukça önemli bilgiler sağlayabilir (DiMaio ve DiMaio, 2001).

PMI tayininde; temel olarak ölüm sonrası gelişen ölü lekeleri, ölü sertliği, ölü soğuması gibi değişimlerden faydalanılmakta olup bu bulgulara göre PMI ile ilgili ancak geniş saat aralıkları şeklinde (örn.: 3 ile 36 saat arası gibi) bilgi verilebilmektedir (Emiral ve ark., 2021). Bu zaman aralıklarını daraltmak ve gerçeğe en yakın ölüm zamanının tespit edilmesi için birçok yöntem denenmektedir. Bu bağlamda göz ve göz içi sıvısı da ölüm zamanının tespitinde kullanılmaktadır.

Göz, korunaklı yapısı ve kolay örnek alınabilmesi nedeniyle ölüm sonrası otopsilerde sıklıkla inceleme yapılan bir organdır. Kan ve idrar örneği alınamayan durumlarda dahi göz ve göz içi sıvısından rahatça örnek alınabilmektedir. Bu da ölüm sonrası yapılan araştırmalarda sıklıkla kullanılmasına neden olmaktadır (Atreya ve ark., 2024).

Çalışmamızda çeşitli arama motorlarından (ScienceDirect, PubMed ve Google Akademik) faydalanılarak, adli tıp alanında açıklanması gereken önemli konulardan olan PMI tespitinde göz ve göz içi sıvısının kullanımı ile ilgili yapılmış çalışmaların güncel literatür ışığında incelenerek adli bakış açısı ile derlenmiştir.

Korneal Opasite ile PMI tayini

Kornea, gözün en dışında yer alan bir saydam tabakadır. Patolojik hastalıklar, travmalar ve kornea greft reddi gibi durumlarda kornea saydamlığını yitirerek opaklaşabilir. Bunun yanı sıra ölüm sonrası da korneada opaklaşma meydana gelmektedir. Balcı ve ark.’larının gözleri kapalı 100 olgu ile yapılan araştırmalarında (Balcı ve ark., 2010) ölümden 8 saat sonra korneada opasitenin belirgin şekilde arttığı gözlemlenmiştir. Cantürk ve ark.’ların çalışmasında ölüm sonrası 6. saatten 15. saate kadar 20 dakikada bir fotoğraflama yapılmış ve opasite artışının zamanla anlamlı bir artış gösterdiği belirlenmiştir (Cantürk ve ark., 2017). Benzer bir çalışmada ölüm sonrası fotoğraflanmış kornealar ve geliştirilen analiz sistemi ile ölüm sonrası ilk 36 saat için maksimum 3 saat hata payı ile PMI’in belirlenebildiği, 36. Saatten sonra ise hata payının 6-8 saate kadar uzayabildiği bildirilmiştir. Hata paylarında ortam sıcaklığı ve nem değerlerindeki değişimin etkili olabileceği değerlendirilmiştir (Zheng ve ark., 2021). Yapılan başka bir çalışmada da benzer sonuçlar elde edilmiş fakat yaşla birlikte opasitenin arttığı ve ortam koşullarının korneadaki opasiteyi etkilediği vurgulanmıştır (Kawashima ve ark., 2015).

Korneal kalınlık ile PMI tayini

Kornea dıştan içe epitel, bowman, stroma, descemet membranı ve endotel hücre olmak üzere 5 tabakadan oluşmaktadır. Korneanın merkezi ince, periferi ise nispeten daha ince bir yapıdan oluşur. Deneysel bir çalışmada hava embolisi ile sakrifiye edilen tavşanlarda ölüm sonrası 72 saat ölçüm yapılmış ve ölüm sonrası 12. saatte kornea kalınlığının artmaya başladığı, 54. saatte pik değerine ulaştığı ve bu artışın PMI ile pozitif korelasyon gösterdiği vurgulanmıştır (Li ve ark., 2013). Buna karşın, kornea kalınlıkları optik koherans tomografi (OCT) ile incelenen 5568 olgunun yer aldığı bir çalışmada, ölüm sonrası erken dönemde kornea kalınlıklarının hızla azaldığını ve OCT ile yapılan kornea kalınlığının PMI tayininde kullanılabileceği vurgulanmıştır. Aynı çalışmada gözün kapalı veya açık olmasının korneada dehidratasyona neden olacağı ve bunun kornea kalınlığını etkileyeceği bildirilmiştir (Napoli ve ark., 2020).

Kornea endotel hücre yoğunluğu ile PMI tayini

Korneanın 5 (beş) tabakasından en iç tarafta kalan tabaka endotel hücreleridir. Bu hücreler bölünemeyen hücre grubunda yer almaktadır. Bu hücreler doğumda en yüksek sayıda iken ölüme kadar sayısı azalmaktadır. Bu hücre grubunun aktif bir kan dolaşımı bulunmamakta

olup, beslenmesi difüzyon yoluyla gerçekleşmektedir. Ölüm sonrası vücudumuzdaki tüm organ ve hücrelerin dolaşım sistemi ile beslenmesi durduğundan kornea endotel hücrelerinde de zaman içinde hücre ölümü gerçekleşmektedir. Dolayısıyla korneal endotel hücre yoğunluğunda (endotel hücre sayısı/mm²) da azalma meydana geleceği düşünülmektedir. PMI ile postmortem korneal endotel hücre yoğunluğunda ölüm sonrası zamana bağlı meydana gelen değişimlerin değerlendirildiği bir çalışmada ölüm sonrası korneal endotel hücre yoğunluğunda zamanla bir azalma görüldüğü, fakat değerlendirilen endotel hücrelerinin çoğunluğunun ölümün erken saatlerinde sayılmış olması, ilerleyen saatlerde ise yeterli örneğin bulunamaması nedeniyle ve standardizasyon sağlanması açısından hayvan deneyi ile doğrulanması gerektiği vurgulanmıştır (Özsoy ve ark., 2022).

Pupil Çapı Değişimi ile PMI tayini

Gözün iris kısmının orta kısmında bulunan boşluk Pupil olarak isimlendirilmektedir. Pupil çapı iris tarafından kontrol edilir. Pupil çapı patolojik hastalıklarda veya ilaç kullanımında değişebilmektedir (Doğan ve ark., 2023). Kolinerjik ilaçlar (opioid, pilokarpin vb.) miyotik etki yaparken, antikolinerjik ilaçlar (atropin vb.) ise midriyatik etki yapmaktadır. Ölümden sonra tüm dokularda olduğu gibi pupilde de önemli değişimler olmaktadır. Işık refleksi, ışığa yanıt olarak sinirsel uyarı ile pupil çapının daralmasıdır. Ölümün gerçekleşmesi ile ışık refleksi gerçekleşmemekte ve pupil çapında daralma olmamaktadır. Fakat kolinerjik veya antikolinerjik ilaçlara bağlı olarak pupilde ölüm sonrası bir süre yanıt oluşabilmektedir. Yapılan bir çalışmada bu sürenin ölüm sonrası ilk 15 saat olduğu vurgulanmıştır (Larpkrajang ve ark., 2016). Ölüm sonrası ilk 26 saatin incelendiği bir araştırmada 30 kornea incelenmiş ve korneadaki pupil çapındaki değişimin PMI tayininde kullanılabileceği bildirilmiştir (Englisich ve ark., 2024). Orrico ve ark.'larının çalışmasında ise ölüm sonrası gözlerine pilokarpin damlatılan 309 olgunun yalnızca %16,2'sinde pupil çapında değişim olduğu, fakat bu değişimin PMI tayini ile ilişkisinin anlamlı olmadığı bulunmuştur (Orrico ve ark., 2008). Yakın zamanda yapılan bir çalışmada da Orrico ve ark.'larının çalışmasını destekler nitelikte sonuçlar ortaya koyulmuş, ölüm sonrası pupil çapındaki değişim ile PMI tayini için "PMI = 8.310-3.702(Diff) ± 0.735" şeklinde bir matematiksel bir regresyon formülü geliştirilmiştir. Formülde yer alan "Diff"'in kalibre edilmiş pilokarpin damla uygulaması

sonrası pupil çapını ifade ettiği bildirilmiştir (Larpkrajang ve ark., 2016).

Göz içi sıvısındaki elektrolitlerin değişimi ile PMI Tayini

Göz içi sıvısı, gözün anterior segmenti boyunca uzanım gösteren lens, zonular ve siliyer cisimcik ile çevrili, şeffaf, avasküler ve jelimsi bir sıvıdır. Vitroz humor ya da vitroz cisimcik olarak da isimlendirilir. Lens ile retinanın arasını doldurmakta ve eklem bacaklılardan memelilere kadar tüm hayvanlarda bulunmaktadır. Her iki gözde de yaklaşık 4-5 mL bulunmaktadır (Baniak, 2015; Pigiaini ve ark., 2020). Göz içi sıvısı, kan ve beyin omurilik sıvısı ile karşılaştırıldığında ölüm sonrası değişimlerinden daha yavaş etkilenmesi ve kontaminasyonlara dayanıklı yapısı gibi nedenlerle ölüm sonrası yapılan biyokimyasal incelemelerde öne çıkarmaktadır (Honey ve ark., 2005; Keten ve ark., 2009; Thierauf ve ark., 2009). Göz içi sıvısı, içerisinde çeşitli elektrolit ve bileşiklerden oluşan karmaşık bir yapıya sahip olup, içeriğinde ölüm sonrası meydana gelen değişimler çok defa araştırmalara konu olmuştur.

- **Sodyum ve Klorür:** Sodyum, hücre dışında bol bulunan pozitif bir iyondur. Serum sodyumu, ozmotik basıncı belirler ve ekstraselüler sıvı hacmi toplam sodyum iyon içeriğine göre belirlenir. Sodyumun normal vitroz değerleri 135-145 mmol/L arasındadır. Klorür ise hücre dışında majör olarak bulunan anyon bir iyondur. Vitroz değerleri 105-135 mmol/L arasındadır. Her iki iyon da vücuttaki asit-baz değişimlerinde önemli rol oynamaktadır (Belsey ve Flanagan, 2016; Li ve ark., 2018). Diğer elektrolitlere kıyasla özellikle ölüm sonrası erken dönemde konsantrasyonu daha stabil olduğu için PMI tayininde sodyum ve klorürün önemli bir yeri bulunmaktadır (Ingham ve Byard, 2009). Ölüm sonrası göz içi sıvısındaki sodyum ve klorür iyonlarındaki değişimin PMI ile ilişkisinin anlamlı olduğunu belirten çalışmalar olduğu gibi ikisi arasında ilişki olmadığını bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Li ve ark., 2018). Yapılan bir çalışmada ise her iki iyonun da ortam sıcaklığından etkilendiği, bu nedenle soğukta bekletilen cesetlerde ölüm zamanı ile göz içi sıvısındaki sodyum ve klorür değişimi arasında ilişki kurulamayacağını bildirilmiştir (Murthy ve ark., 2019).

- **Potasyum:** Canlıların tamamında hücre zarında Na⁺/K⁺ ATP'az pompası bulunmakta ve bu pompa sayesinde intraselüler potasyum seviyesi yüksek, ekstraselüler seviyesi ise düşük

tutulmaktadır. Fakat ölüm sonrası hücrel hipoksi ve anoksi gerçekleşir ve pompa eski görevini yapamaz. Bu durumda hücre membranının seçici geçirgenliği azalmakta ve intraselüler potasyum pasif difüzyonla hücre dışına, yani göz içi sıvısına geçmektedir. Bu durum göz içi sıvısında potasyum artışına neden olmaktadır. Ölüm sonrası göz içi sıvısındaki potasyum konsantrasyonundaki değişimin lineer ve pozitif korelasyon gösterdiği belirtilmektedir (Locci ve ark., 2023; S Kurup ve ark., 2023; Umaphathi ve ark., 2023). Madea ve ark. göz içi sıvısındaki potasyumun değişimi ile PMI'nın belirlenmesinde kullanılabilecek bir formül geliştirmiş ve bu formülün ölüm sonrası ilk 120 saat (5 gün) için kullanılabileceğini belirtmiştir (Madea ve ark., 1989). Birçok çalışmada (Muñoz ve ark., 2001; Madea, 2005; Madea ve Rödig, 2006) ölüm sonrası göz içi sıvısındaki potasyum konsantrasyonunda lineer bir artış olduğu bildirilmiş ve PMI tayini için çeşitli formüller ortaya koyulmuş olsa da bu artışın tam olarak doğrusal olmadığını da bildiren çalışmalar da bulunmaktadır (Langea ve ark., 1994). Potasyum konsantrasyonu çeşitli faktörlerden etkilenmekte ve bu durum PMI tayininde kullanımı konusunda kısıtlılığa yol açmaktadır. Ölüm nedeni, ölümün gerçekleştiği mevsim ve hava koşulları, ortam sıcaklığı, ölenin yaşı, vücut yapısı, metabolik durum gibi değişkenlere göre ölüm sonrası potasyum konsantrasyonunda da değişiklikler olmaktadır (Li ve ark., 2018). Murthy ve ark.'larının çalışmasında otopsi öncesi soğuk ortamda bekleyen kadavralarda göz içi sıvısındaki potasyum konsantrasyonunun önemli ölçüde değiştiği gözlemlenmiştir (Murthy ve ark., 2019). Tüm değişkenler göz önünde tutulduğunda literatürde ölüm sonrası potasyum düzeyi ile PMI tayini için farklı formüller geliştirilmiş olmakla birlikte ölüm sonrası göz içi sıvısında potasyum konsantrasyonunun arttığı ve bunun PMI tayininde kullanılan diğer yöntemlerle beraber kullanılması konusunda bir fikir birliğinin olduğu görülmektedir (Langea ve ark., 1994; Prasad ve ark., 2003; Rangaiah ve ark., 2023).

• **Magnezyum:** PMI tayininde sıklıkla kullanılan göz içi sıvısındaki elektroitlerden bir diğeri de magnezyumdur. Canlılarda magnezyum, retinadan lense, son olarak difüzyon ile göz içi sıvısına geçer. Ölüm sonrası ATP üretiminin durması, hücre membranının seçici-geçirgen yapısını kaybetmesi gibi değişimler, magnezyum iyonlarının hücre içi ve hücre dışında geri dağılıma uğramasına neden olmaktadır Ölüm sonrası göz içi sıvısındaki

magnezyum iyon konsantrasyonu ile PMI tayini arasında korelasyon olup olmadığı tartışmalı bir konudur. Bu konuda pozitif korelasyon olduğunu bildiren çalışmalar olduğu gibi aksini gösteren çalışmalar da bulunmaktadır (Li ve ark., 2018; Abbas ve ark., 2022).

• **Hipoksantin:** Hipoksantin, ksantin ve ürik asit katabolizması ile oluşmaktadır. Hipoksi durumunda hipoksantin konsantrasyonu artarak retinaya girer. Hipoksantin tek başına PMI tayininde yetersiz olsa da potasyum konsantrasyonu ile birlikte yapılan değerlendirmelerde PMI tayininde anlamlı olduğu belirtilmektedir (Kalra ve ark., 2016). Cordeiro ve ark.'ların çalışmasında ise PMI tayininde hipoksantin ile üre düzeylerinin birlikte değerlendirilmesi gerektiği vurgulanmaktadır (Cordeiro ve ark., 2019).

• **Amino asit:** Aminoasitler serbest formda kan-vitröz bariyerini geçebilir. Ölüm sonrası göz içi sıvısında aminoasit konsantrasyon değişimi ile PMI tayini hakkında birçok çalışma bulunmaktadır (Ansari ve Menon, 2017; Li ve ark., 2018). Yapılan bir deneysel çalışmada göz içi sıvısında bulunan 16 aminoasidin ölüm sonrası konsantrasyonu ile PMI arasında pozitif korelasyon olduğu bulunmuştur (Pesko ve ark., 2020). Ansari ve Menon'un çalışmasında (Ansari ve Menon, 2017) ise göz içi sıvısında araştırmaya dahil edilen aminoasitlerden sadece triptofan seviyesinin PMI ile ilişkili olduğu bildirilmiştir. Ayrıca "Triptofan Seviyesi = $2.21 + 2.98 \times \text{Ölüm Zamanı}$ " şeklinde bir regresyon formülü belirlenmiş olmakla beraber günümüzde PMI tayininde potasyum konsantrasyonundaki değişimin daha güvenilir olduğunu ortaya koyulmuştur.

Sonuç

Ölüm zamanı ve postmortem interval, adli tıp ve adli bilimlerin önemli konularından biridir. PMI tayininde günümüz bilimsel verileri ışığında birçok yöntem araştırılmış, göz ve göz içi sıvısı da bu konuda sıklıkla araştırma konusu olmuştur. Göz ve göz içi sıvısında birçok çalışma yapılmış olmakla birlikte istenen düzeyde sonuçlar alındığı söylenememektedir. Ölüm nedeni, ölümün gerçekleştiği mevsim ve hava koşulları, ortam sıcaklığı, ölenin yaşı, vücut yapısı, metabolik durum, göz kapaklarının kapalı olup olmaması gibi birçok faktör bu durumu etkilemektedir. PMI tayininde sadece bir yöntemi uygulamak yerine birden fazla yöntemin birlikte uygulanmasının daha doğru sonuçlar vereceği düşünülmektedir.

Çıkar Çatışması: Çalışmada herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Derlememiz Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi Sağlık Bilimleri Fakültesi'nin 24-26 Nisan 2024 tarihlerinde düzenlemiş olduğu "8. Uluslararası Adli Hemşirelik Kongresi"nde sözel bildiri olarak sunulmuştur

KAYNAKLAR

- Abbas A, Farooq A, Farooq MA. (2022). Diagnostic analysis of electrolytes (NA⁺, k⁺, CL⁻, MG⁺ 2 and PO⁻³⁴) in cadaveric synovial fluid from knee joint to estimate postmortem interval. *Pakistan Journal of Medical & Health Sciences*, 16(03), 777.
- Ansari N, Menon SK. (2017). Determination of time since death using vitreous humor tryptophan. *Journal of Forensic Sciences*, 62(5), 1351-1356.
- Atreya A, Ateriya N, Menezes RG. (2024). The eye in forensic practice: In the dead. *Medico-Legal Journal*, 258172241230210.
- Balci Y, Basmak H, Kocaturk BK, Sahin A, Ozdamar K. (2010). The importance of measuring intraocular pressure using a tonometer in order to estimate the postmortem interval. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 31(2), 151-155.
- Belsey SL, Flanagan RJ. (2016). Postmortem biochemistry: Current applications. In *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 41, 49-57.
- Cantürk İ, Çelik S, Feyzi Şahin M, Yağmur F, Kara S, Karabiber F. (2017). Investigation of opacity development in the human eye for estimation of the postmortem interval. *Biocybernetics and Biomedical Engineering*, 37(3), 559-565.
- Cordeiro C, Ordóñez-Mayán L, Lendoiro E, Febrero-Bande M, Vieira DN, Muñoz-Barús JI. (2019). A reliable method for estimating the postmortem interval from the biochemistry of the vitreous humor, temperature and body weight. *Forensic Science International*, 295, 157-168.
- DiMaio VJ, DiMaio DJ. (2001). *Forensic pathology* (2nd ed.). BocaRaton: CRC Press LCC.
- Dogan AS, Ozcan BG, Celikay O, Yildiz Z, Bahar A. (2023). The effect of photochromic contact lenses on pupil size. *Beyoglu Eye Journal*, 8(3), 166-169.
- Emiral E, Kılıcaslan Yavuz D, Hancı İH, Satiroglu Tufan NL. (2021). Role of cell free DNA and HMGB-1 in postmortem interval determination. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 29, 1-7.
- Englisch CN, Alrefai R, Lesan CM, Seitz B, Tschernig T. (2024). Postmortem sympathomimetic iris excitability. *Annals of Anatomy*, 152240.
- Honey D, Caylor C, Luthi R, Kerrigan S. (2005). Comparative alcohol concentrations in blood and vitreous fluid with illustrative case studies. *Journal of Analytical Toxicology*, 29(5), 365-369.
- Ingham AI, Byard RW. (2009). The potential significance of elevated vitreous sodium levels at autopsy. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 16(8), 437-440.
- Baniak N, Campos-Baniak G, Mulla A, Kalra J. (2015). Vitreous humor: A short review on post-mortem applications. *Journal of Clinical & Experimental Pathology*, 05(01).
- Kalra J, Mulla A, Kopargaonkar A. (2016). Diagnostic value of vitreous humor in postmortem analysis. *SM Journal of Clinical Pathology*, 1(1), 1005.
- Kawashima W, Hatake K, Kudo R, Nakanishi M, Tamaki S, Kasuda S, et al. (2014). Estimating the time after death on the basis of corneal opacity. *Journal of Forensic Research*, 06(01).
- Keten A, Tumer AR, Balseven-Odabasi A. (2009). Measurement of ethyl glucuronide in vitreous humor with liquid chromatography-mass spectrometry. *Forensic Science International*, 193(1-3), 101-105.
- Langea N, Swearerb S, Sturner WQ. (1994). Human postmortem interval estimation from vitreous potassium: an analysis of original data from six different studies. *Forensic Science International*, 66(3), 159-174.
- Larpkrajang S, Worasuwanarak W, Peonim V, Udnoon J, Srisont S. (2016). The use of pilocarpine eye drops for estimating the time since death. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 39, 100-103.
- Li W, Chang Y, Cheng Z, Ling J, Han L, Li X, et al. (2018). Vitreous humor: A review of biochemical constituents in postmortem interval estimation. *Journal of Forensic Science and Medicine*, 4(2), 85-90.
- Li XN, Zheng JL, Hu ZG, Wang BJ. (2013). Relationship between corneal thickness and postmortem interval in rabbit. *Fa Yi Xue Za Zhi*, 29(4), 241-243.

- Locci E, Stocchero M, Gottardo R, Chighine A, De-Giorgio F, Ferino G, et al. (2023). PMI estimation through metabolomics and potassium analysis on animal vitreous humour. *International Journal of Legal Medicine*, 137(3), 887–895.
- Madea B, Henssge C, Hönig W, Gerbracht A. (1989). References for determining the time of death by potassium in vitreous humor. *Forensic Science International*, 40(3), 231–243.
- Madea B. (2005). Is there recent progress in the estimation of the postmortem interval by means of thanatochemistry? *Forensic Science International*, 151(2–3), 139–149.
- Madea B, Rödiger A. (2006). Time of death dependent criteria in vitreous humor—Accuracy of estimating the time since death. *Forensic Science International*, 164(2–3), 87–92.
- Muñoz JI, Suárez-Peñaranda JM, Otero XL, Rodríguez-Calvo MS, Costas E, Miguéns X, et al. (2001). A new perspective in the estimation of postmortem interval (PMI) based on vitreous. *Journal of Forensic Sciences*, 46(2), 209–214.
- Murthy AS, Das S, Thazhath HK, Chaudhari VA, Adole PS. (2019). The effect of cold chamber temperature on the cadaver's electrolyte changes in vitreous humor and plasma. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 62, 87–91.
- Napoli PE, Nioi M, Gabiati L, Lorenzo M, De-Giorgio F, Scorcia V, et al. (2020). Repeatability and reproducibility of post-mortem central corneal thickness measurements using a portable optical coherence tomography system in humans: a prospective multicenter study. *Scientific Reports*, 10(1).
- Orrico M, Melotti R, Mantovani A, Avesani B, De Marco R, De Leo D. (2008). Criminal investigations pupil pharmacological reactivity as method for assessing time since death is fallacious. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 29(4), 304–308.
- Özsoy S, Kaya B, Balandiz H, Akyol M, Özge G, Özmen MC, Uysal BS. (2022). Postmortem interval estimation with corneal endothelial cell density. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, 43(2), 147–152.
- Pesko BK, Weidt S, McLaughlin M, Wescott DJ, Torrance H, Burgess K, et al. (2020). Postmortomics: The Potential of Untargeted Metabolomics to Highlight Markers for Time Since Death. *Omics: A Journal of Integrative Biology*, 24(11), 649–659.
- Pigaiani N, Bertaso A, De Palo EF, Bortolotti F, Tagliaro, F. (2020). Vitreous humor endogenous compounds analysis for post-mortem forensic investigation. *Forensic Science International*, 310, 110235.
- Prasad BK, Choudhary A, Sinha JN. (2003). A study of correlation between vitreous potassium level and post mortem interval. *Kathmandu University Medical Journal (KUMJ)*, 1(2), 132–134.
- Rangaiah YKC, Mahesh M, Harish Kumar P, Surekha V, Kattamreddy Ananth R, Shankar R, et al. (2023). Role of vitreous humor and synovial fluid potassium levels in estimating postmortem interval: A study. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 17(3).
- Kurup S, Bharathi M, Narayan, G, Vinayagamoorthi R, Rajesh R, Suvvari TK. (2023). Estimation of time since death from potassium levels in vitreous humor in cases of unnatural death: A facility-based cross-sectional study. *Cureus*, 15(5), e39572.
- Thierauf A, Musshoff F, Madea, B. (2009). Post-mortem biochemical investigations of vitreous humor. *Forensic Science International*, 192(1–3), 78–82.
- Umaphathi A, Chawla H, Singh SB, Tyagi A. (2023). Analysis of changes in electrolytes level in serum after death and its correlation with postmortem interval. *Cureus*, 15(5), e38957.
- Zheng J, Huo D, Wen H, Shang Q, Sun W, Xu Z. (2021). Corneal-Smart Phone: A novel method to intelligently estimate postmortem interval. *Journal of Forensic Sciences*, 66(1), 356–364.