



Inactivation of HSV-1 Using Methylene Blue and Visible Light: Correlation of TCID₅₀ Reduction with Glycoprotein D RNA Expression by RT-qPCR

Leila Mousavi Dehaqani¹, Zahra Paz², Zohreh Sharifi¹ 

¹Biological Products and Blood Safety Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine, Tehran, Iran

²Blood Transfusion Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine, Tehran, Iran



Received: 2026/01/11
Accepted: 2026/04/04

 <http://dx.doi.org/10.66224/bloodj.23.1.12>

Citation:

Mousavi Dehaqani L, Paz Z, Sharifi Z. Inactivation of HSV-1 Using Methylene Blue and Visible Light: Correlation of TCID₅₀ Reduction with Glycoprotein D RNA Expression by RT-qPCR. J Iran Blood Transfus. 2026; 23 (1): 12-21

Correspondence:

Sharifi Z, Associate professor of Biological Products and Blood Safety Research Center, High Institute for Research and Education in Transfusion Medicine.
P.O.Box: 14665-1157, Tehran, Iran.
Tel: (+9821) 82052152
E-mail: z.sharifi@tmi.ac.ir

ABSTRACT

Background and Objectives

Despite Significant advances in blood safety, the risk of infectious agent transmission remains a challenge for blood transfusion centers. To enhance blood safety, methods for removing or inactivating viruses have been developed. This study focuses on the inactivation of the herpes simplex virus type 1 (HSV-1) using methylene blue and visible light in plasma and compares the efficacy of the qRT-PCR and TCID₅₀ methods.

Materials and Methods

In a experimental study, vero cells were cultured in DMEM with 1% penicillin-streptomycin and 10% fetal calf serum at 37°C with 5% CO₂. The virus titer was determined by infectivity these cells. Subsequently, the virus stock was added to plasma at 0.1 volume. The virus was added to five individual plasma units obtained from different blood donors. Five plasma samples containing virus were treated with 1 µM methylene blue and then irradiated for 10 min at 627 nm. Virus titration was performed in 96-well plates, and virus titer was measured before and after irradiation through 10-fold serial dilutions using the TCID₅₀ method. The control group included plasma without virus, plasma containing virus irradiated without methylene blue, and plasma containing methylene blue without irradiation. After RNA extraction from the dilutions and cDNA construction, glycoprotein D expression was quantified by qRT-PCR. All experiments were repeated three times. Statistical analyses were performed using SPSS-26 and the Pearson correlation coefficient between the two tests was calculated.

Results

Before inactivation, the virus titer was determined by observing cytopathic effects in Vero cells as 10⁷TCID₅₀/mL. After inactivation with methylene blue and irradiation, the titer decreased to 10² TCID₅₀/mL, representing a 5-log reduction. The mean threshold cycle (Ct) of the glycoprotein D gene in cell cultures containing non-inactivated HSV-1 (10⁷TCID₅₀/mL) was 22.6 (Ct = 22.6) whereas the mean Ct of the glycoprotein D gene in plasma samples after inactivation by methylene blue and visible light (10² TCID₅₀/mL) was 28 (Ct = 28). This indicates a 15-fold decrease in glycoprotein D expression (p= 0.001).

Conclusions

A correlation was observed between the logarithmic values of TCID₅₀ and Ct values obtained by qRT-PCR assay. Molecular methods based on glycoprotein D (gD mRNA) expression may be served as a usefull approach for detecting of active HSV infection.

Key words: Virus Inactivation, Herpes Simplex Virus Infection, methylene blue, visible light, RT-PCR



Copyright © 2025 Journal of Iranian Blood Transfusion, Published by Blood Transfusion Research Center.
This work is licensed under a Creative Common Attribution-Non Commercial 4.0 International license.



غیرفعال سازی ۱-HSV با متیلن بلو و نور مرئی: همبستگی کاهش TCID₅₀ با بیان RNA گلیکوپروتئین D با روش RT-qPCR

لیلا موسوی دهاقانی^۱، زهرا پاز^۲، زهره شریفی^۳ ID

۱- کارشناس ارشد زیست فناوری - مرکز تحقیقات فرآورده‌های بیولوژیک و سلامت خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران
۲- کارشناس میکروبیولوژی - مرکز تحقیقات انتقال خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران
۳- PhD ویروس‌شناسی - استاد مرکز تحقیقات فرآورده‌های بیولوژیک و سلامت خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران

چکیده

سابقه و هدف

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در سلامت خون، خطر انتقال عوامل عفونی همچنان یک چالش برای مراکز انتقال خون است. برای افزایش سلامت خون، روش‌هایی برای حذف یا غیرفعال کردن ویروس‌ها توسعه یافته است. این مطالعه بر غیرفعال‌سازی ویروس هرپس سیمپلکس نوع ۱ (HSV-1) با استفاده از متیلن‌بلو و نور مرئی در پلاسما تمرکز دارد و اثربخشی غیرفعال‌سازی را با روش‌های qRT-PCR و TCID₅₀ مقایسه می‌کند.

مواد و روش‌ها

در یک مطالعه تجربی، سلول Vero در محیط DMEM با ۱٪ پنی‌سیلین - استرپتومایسین و ۱۰٪ سرم جنین گوساله در دمای ۳۷ درجه سانتی‌گراد با ۵٪ CO₂ کشت داده شدند. تیترو ویروس با آلوده‌سازی این سلول‌ها تعیین شد. متعاقب آن، ذخیره ویروس در حجم ۰/۱ پلاسما به آن اضافه شد. ویروس به پنج واحد پلاسمای جداگانه که از اهداکنندگان خون مختلف به دست آمده بود، اضافه شد. پنج نمونه پلاسمای حاوی ویروس با متیلن‌بلو ۱ میکرومولار تیمار شدند و سپس به مدت ۱۰ دقیقه در طول موج ۶۲۷ نانومتر تحت پرتودهی قرار گرفتند. تیتراسیون ویروس در پلیت‌های ۹۶ چاهکی انجام شد و تیترو ویروس قبل و بعد از پرتودهی از طریق رقت‌های سریالی ۱۰ برابری با روش TCID₅₀ اندازه‌گیری شد. گروه کنترل شامل پلاسمای بدون ویروس، پلاسمای حاوی ویروس پرتودهی شده بدون متیلن‌بلو و پلاسمای حاوی متیلن‌بلو بدون پرتودهی بود. پس از استخراج RNA از رقت‌ها و ساخت cDNA، بیان گلیکوپروتئین D با qRT-PCR اندازه‌گیری شد. تمامی آزمایش‌ها ۳ مرتبه تکرار گردید. در نهایت محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار ۲۶ SPSS انجام شد و ضریب همبستگی پیرسون بین دو آزمایش محاسبه گردید.

یافته‌ها

قبل از غیرفعال‌سازی، تیترو ویروس با مشاهده اثرات سیتوپاتیک در سلول‌های Vero به صورت TCID₅₀/mL ۱۰^۷ تعیین شد. پس از غیرفعال‌سازی با متیلن‌بلو و پرتودهی، تیترو به TCID₅₀/mL ۱۰^۲ کاهش یافت که نشان‌دهنده کاهش ۵ لگاریتمی است. میانگین چرخه آستانه (Ct) ژن گلیکوپروتئین D در کشت‌های سلولی حاوی HSV-1 غیرفعال نشده (TCID₅₀/mL ۱۰^۷)، ۲۲/۶ (Ct= ۲۲/۶) بود، در حالی که میانگین Ct ژن گلیکوپروتئین D در نمونه‌های پلاسما پس از غیرفعال شدن توسط متیلن‌بلو و نور مرئی (TCID₅₀/mL ۱۰^۲)، ۲۸ (Ct= ۲۸) بود. این نشان‌دهنده کاهش ۱۵ برابری در بیان گلیکوپروتئین D است (p= ۰/۰۰۱).

نتیجه‌گیری

بین مقادیر لگاریتمی TCID₅₀ و مقادیر Ct به دست آمده از روش qRT-PCR همبستگی مشاهده شد. روش‌های مولکولی مبتنی بر بیان گلیکوپروتئین D (gD mRNA) ممکن است به عنوان یک رویکرد مفید برای تشخیص عفونت فعال HSV به کار گرفته شوند.

کلمات کلیدی: غیرفعال‌سازی ویروس، ویروس هرپس سیمپلکس، متیلن‌بلو، نور مرئی، RT-PCR



تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۲۱
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۱۵

doi <http://dx.doi.org/10.66224/bloodj.23.1.12>

Citation:

Mousavi Dehaqani L, Paz Z, Sharifi Z. Inactivation of HSV-1 Using Methylene Blue and Visible Light: Correlation of TCID₅₀ Reduction with Glycoprotein D RNA Expression by RT-qPCR. J Iran Blood Transfus. 2026; 23 (1): 12-21

نویسنده مسئول:

دکتر زهره شریفی. استاد مرکز تحقیقات فرآورده‌های بیولوژیک و سلامت خون - مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون - تهران - ایران

صندوق پستی: ۱۴۶۶۵-۱۱۵۷

E-mail: z.sharifi@tmi.ac.ir

مقدمه

با توجه به پیشرفت‌های قابل توجه در سلامت خون و وجود روش‌های مختلف موجود، هنوز شناسایی عوامل عفونی به صفر نرسیده است و احتمال انتقال ویروس‌ها از طریق خون و فرآورده‌های آن، یکی از چالش‌های مهم و اصلی در مراکز انتقال خون می‌باشد (۱-۳). برای افزایش سلامت خون، روش‌های حذف یا غیرفعال‌سازی ویروس‌ها مورد توجه قرار گرفته است (۴). برای بررسی مؤثر بودن روش غیرفعال‌سازی، از تکثیر ویروس در کشت سلول استفاده می‌شود و نتایج آزمایش بر اساس تغییرات در مورفولوژی سلول استوار است و ممکن است اثر تخریب طبیعی سلول با اثر سیتوپاتیک ویروس از هم قابل تشخیص نباشد. در نتیجه استفاده از روش‌هایی که تکثیر ویروس را در کشت سلول نشان دهد می‌تواند بسیار کمک‌کننده باشد تا تکثیر ویروس از تخریب طبیعی تشخیص داده شود.

ویروس هرپس سیمپلکس نوع یک و دو (HSV-2)، (HSV-1) به عنوان ویروس هرپس انسانی نوع یک و دو (human herpesvirus 1 & 2, HHV-1, HHV-2) نیز شناخته می‌شوند (۵). تمام ویروس‌های هرپس دارای ویژگی‌های مشترک ژنوم DNA دو رشته‌ای بزرگ خطی با کپسید بیست وجهی و پوشش خارجی لیپید دولایه می‌باشند. پوشش ویروس توسط تگومنت به کپسید متصل است و ذره کامل ویروس را تشکیل می‌دهد (۶، ۷). ورود هرپس به داخل سلول میزبان توسط چندین گلیکوپروتئین سطح پوشش ویروس به گیرنده‌های سطح سلول انجام می‌شود (۸). بعد از اتصال ویروس به سطح سلول از طریق فیوژن غشا و تلفیق شدن پوشش ویروسی با غشای سلول، محتویات ویروسی به سلول وارد می‌شود. ویروس هرپس ابتدا با دو گلیکوپروتئین gC و gD به هپاران سولفات سطح سلول متصل می‌شود. سپس گلیکوپروتئین gD حداقل به سه گیرنده اختصاصی شناخته شده متصل می‌گردد (۹). گلیکوپروتئین D (gD) برای ورود به سلول و عفونت HSV ضروری است و ژن آن به دلیل نواحی حفاظت شده و اختصاصی بودن برای تشخیص HSV به کار می‌رود، gD mRNA یک هدف مناسب برای تشخیص عفونت فعال HSV است.

از آن جایی که پاتوژن‌های ویروسی برای تکثیر و گسترش خود به مکانیسم‌های سلول میزبان متکی هستند و از آن‌ها بهره می‌برند، بنابراین مطالعه تعاملات بین

ویروس و سلول میزبان و تعیین عفونت‌زایی ویروس، به عنوان مثال، با سنجش‌های دوز عفونی ۵۰٪ کشت بافت (TCID₅₀)، انجام می‌شود. تعیین تیتراهای کمی ویروس ابزاری مهم برای تعیین عفونت‌زایی و تکثیر ویروس هستند و هر دو پارامترهای حیاتی برای ارزیابی و بررسی تأثیر روش‌های غیرفعال‌سازی ویروس‌ها می‌باشند. سنجش‌های دوز عفونی ۵۰٪ کشت بافت (TCID₅₀) آزمایش‌های تیتراسیون ویروس هستند که می‌توانند با بررسی اثرات سیتوپاتیک ویروس بر روی کشت سلولی میزبان تلقیح شده، برای تعیین کمیت تیتراهای ویروس استفاده شوند. در سنجش‌های TCID₅₀، رقت‌های مختلف ویروس به جمعیت‌های سلولی میزبان با تعداد سلول یکسان اضافه شده و تا زمانی که اثر سیتوپاتیک مشاهده شود، انکوبه می‌شوند. مقدار TCID₅₀ نشان‌دهنده مقدار رقت ویروس مورد نیاز برای القای اثرات سیتوپاتیک در ۵۰٪ از چاهک‌های حاوی کشت سلولی تلقیح شده پس از یک دوره زمانی مشخص است. سنجش‌های TCID₅₀ با شمارش چشمی تعداد چاهک‌های آسیب دیده یا سنجش‌های زنده مانده سلول با استفاده از میکروسکوپ معکوس به عنوان نتیجه نهایی ارزیابی می‌شود (۱۰).

برای بررسی تغییرات ناشی از عوامل طبیعی یا غیره در فرآیندهای بیولوژیک سلول، از روش‌های مختلفی می‌توان استفاده نمود. یکی از این راه‌ها، بررسی تغییرات ایجاد شده در میزان رونوشت‌های سلولی (transcript) است که نشانه تغییرات پروتئین‌های سلول می‌باشد. در حال حاضر با استفاده هم‌زمان از واکنش ترانس کریپتاز معکوس (RT-PCR) شناسایی یک رونوشت RNA از ژن‌های اولیه حاوی تعداد کمی پایین امکان پذیر است (۱۱).

در این پژوهش برای بررسی مؤثر بودن روش غیرفعال‌سازی HSV-1 به عنوان ویروس مدل ویروس‌های DNA دو رشته‌ای پوشش‌دار با روش متیلن بلو و نور مرئی از کشت سلول استفاده شد و تیترا عفونی ویروس با روش دوز عفونی ۵۰٪ کشت بافت (TCID₅₀) و Real Time PCR قبل و بعد از غیرفعال‌سازی بررسی و همبستگی دو روش مقایسه شد تا روشی حساس و با دقت بالا که از نظر زمان و هزینه به صرفه باشد ارائه شود.

مواد و روش‌ها

کشت سلول:

لاین سلولی VERO با منشا کلیه میمون سبز آفریقایی

تقسیم شد.

متیلن بلو:

متیلن بلو از شرکت (product number 1592700010) Merk تهیه گردید. با توجه به جرم مولی متیلن بلو، ۱ cc (۸۵/۳۱۹ g/mol) از محلول متیلن بلو با غلظت ۵۰۰ μM تهیه و در ظرفی تاریک در ۴ درجه سانتی گراد ذخیره گردید.

غیر فعال سازی ویروس HSV-1 با روش متیلن بلو و پرتو دهی با نور مرئی:

به منظور استفاده از روش متیلن بلو و پرتو دهی، از دستگاه پرتو دهی با نور مرئی استفاده شد (۱۲). غیر فعال سازی ویروس با نور دو طرفه طی دستورالعمل زیر انجام گرفت. ابتدا نمونه پلاسما از فریزر ۳۰- درجه سانتی گراد خارج و در بن ماری با دمای ۳۷ درجه سانتی گراد ذوب گردید.

کیسه حاوی ۵۰ میلی لیتر فرآورده پلاسمایی تا زمان استفاده در فریزر ۳۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد. هنگام آزمایش فرآورده در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد ذوب و در حجم های کوچکتر (۱۰ cc) تقسیم گردید. در زیر هود لامینار کلاس ۲ با استفاده از رابط استریل و دستگاه اتصال (آلمان، CompoDock Fresenius) ۵۰ میلی لیتر پلاسما از کیسه اصلی به ۵ کیسه به حجم ۱۰ میلی لیتری تقسیم و بدون باز کردن به کیسه ها منتقل شد و با استفاده از ترازو توزین شد. کیسه ها توسط یک دستگاه سیلر حرارتی (Fresenius، آلمان) از هم جدا شدند. سپس به کمک سرنگ استریل از طریق کورد به ازای هر ۹ میلی لیتر پلاسما، ۱ میلی لیتر از استوک ویروس و متیلن بلو با غلظت ۱ μM به پلاسمای موجود در کیسه اضافه و با سیلر حرارتی سیل گردید به نحوی که ضخامت پلاسما در کیسه حدود یک میلی متر شد.

سپس کیسه در محل تعبیه شده در دستگاه برای پرتو دهی گذاشته شد. پرتو دهی در زمان ۱۰ دقیقه به صورت دو طرفه در ۶۲۷ nm تحت تابش و shaking قرار گرفتند. به منظور تعیین کاهش تیترو ویروس از پلاسما پس از پرتو دهی نمونه برداری شد. پس از ضد عفونی کردن کیسه پس از تابش، زیر هود کلاس ۲ با استفاده از قیچی استریل کورد بریده شد و محتویات آن به آرامی به یک فالکون ۱۵ میلی لیتری منتقل شد.

که در تانک از آزمایشگاه ویروس شناسی موجود بود، مورد استفاده قرار گرفت. ابتدا کرایو ویال پس از خروج از تانک ازت در ۱۹۶- درجه سانتی گراد به سرعت در بن ماری ۳۷ درجه سانتی گراد ذوب شد. پس از شستشو و حذف DMSO، سلول ها با لام نئوبار و محلول تریپان بلو شمارش گردید و درصد سلول زنده محاسبه شد. سپس سلول ها در محیط Dulbecco's Modified Eagle Medium (DMEM)، آنتی بیوتیک پنی سیلین - استرپتومایسین تا غلظت نهایی ۱٪ و سرم جنین گوساله ۱۰٪ (Gibco) به فلاسک کشت ۲۵ cm³ منتقل شد و در انکوباتور حاوی رطوبت ۹۵٪ در دمای ۳۷ درجه سانتی گراد و CO₂ ۵٪ قرار داده شد.

تیتراسیون ویروس:

ابتدا سلول های Vero در پلیت های ۹۶ خانه ای کشت داده شد. پس از کامل شدن ۷۰٪ لایه سلولی، استوک ویروس HSV-1 از فریزر منفی ۷۰ درجه سانتی گراد ذوب شد و در هشت رقت از (۱۰^{-۸} - ۱۰^{-۱}) تهیه گردید. برای رقت های تهیه شده چهار چاهک کشت سلول، کشت سلول بدون ویروس به عنوان کنترل سلول و در چهار چاهک کشت سلول، از استوک ویروس بدون ایجاد رقت به عنوان کنترل ویروس ریخته شد. محیط کشت از چاهک های پلیت خارج شد و سطح سلول ها به منظور حذف سرم سه بار با ۳۰۰ μL DMEM شسته شد. از هر رقت ویروس ۱۰۰ μL در ۴ چاهک ریخته شد. به مدت ۱ ساعت ویروس در مجاورت سلول در ۳۷ درجه سانتی گراد انکوبه شد. در طول این مدت، هر ۱۰ دقیقه یک بار پلیت چرخانده شد تا ویروس در تماس با سلول ها قرار گیرد. پس از یک ساعت، ۳۰۰ μL محیط کشت با ۲٪ سرم به چاهک های پلیت اضافه شد. پلیت در انکوباتور ۳۷ درجه سانتی گراد قرار داده شد. اثر سیتوپاتوژنیک (CPE) Cytopathogenic Effects به مدت ۷ روز بررسی شد و تیترو TCID₅₀ بر اساس روش Reed-Muench محاسبه شد.

پلاسمای تازه منجمد (Fresh Frozen Plasma (FFP):

پنج نمونه پلاسمای تازه منجمد شده با گروه خونی O مثبت از سازمان انتقال خون، پایگاه وصال تهیه گردید. فرآورده ها تا زمان استفاده در فریزر ۳۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد. هنگام آزمایش فرآورده در ۳۷ درجه سانتی گراد ذوب گردید و در حجم های کوچکتر (۱۰ cc)

جدول ۱: برنامه چرخه دمایی برای انجام Real Time PCR

مرحله	درجه حرارت	مدت	تعداد چرخه	نوع تجزیه و تحلیل
Pre-Incubation	۹۴	۱۰ دقیقه	۱	-
Amplification	۹۵	۱۰ ثانیه	۴۵	Quantification
		۱۰ ثانیه		
	۵۸	۲۵		
	۷۲	۰		
Melting Curve	۹۵	۰	۱	Melting Curve
	۶۵			
	Melting	۹۵	Continuouce	
Cooling		۴۰	۱	-

تهیه cDNA:

برای سنتز cDNA از کیت یکتا تجهیز آزما استفاده شد. ابتدا ۵ µL از RNA استخراج شده از سلول‌های آلوده به ویروس و کنترل سلول با استفاده از ۱ µL از آغازگر راندوم هگزامر و الیگو dT به میکرو تیوپ اضافه و به محلول فوق ۴ µL از DEPC Water افزوده شد. مخلوط فوق ۵-۳ ثانیه سانتریفیوژ و سپس به مدت ۵ دقیقه در دمای ۶۵ درجه سانتی گراد انکوبه شده و سپس ویال به Cool Box منتقل شد. سپس به محلول فوق ۱۰ µL از RT premix افزوده شد. برای سنتز cDNA، مخلوط فوق به مدت ۱۰ دقیقه در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد؛ ۶۰ دقیقه در دمای ۴۷ درجه سانتی گراد و ۱۰ دقیقه در دمای ۷۰ درجه سانتی گراد در ترمال سایکلر قرار داده شد. سپس با کمک آغازگرهای اختصاصی ژن‌های GAPDH و گلیکوپروتئین D (GPD) (با شماره دسترسی OZ349004) برای ویروس HSV، بر روی cDNA، Real Time RT-PCR انجام شد (۱۵).

توالی آغازگری ژن‌های مورد استفاده؛ شامل ژن‌های GAPDH و گلیکوپروتئین D (GPD) برای ویروس HSV می‌باشد:

HSV, Forward (5'-CATCACCGACCCGAGAGGGAC),
 HSV, Reverse (5'-GGGCCAGGCGCTTGTTGGTGTA),
 GAPDH F, 5' CGCTCTCTGCTCCTCCTGTT 3'
 GAPDH R, 5' CCATGGTGTCTGAGCGATGT 3'.

برای انجام آزمایش مطابق دستور عمل کیت (Fast SYBR® Green Master Mix) شرکت رُوش عمل شد. محتوای هر یک از ویال‌های Reaction Mix و آنزیم Reaction Mix به مدت ۲۰ ثانیه سانتریفیوژ شد. بر اساس

سپس کیسه خالی شده درون کیسه مخصوص اتوکلاو قرار داده شد. از هر نمونه سریال رقت ۱۰ تایی تهیه گردید. از هر رقت بر روی پلیت ۹۶ خانه‌ای برده شد و CPE سلول‌ها مورد بررسی قرار شد. به منظور بررسی اثر پرتودهی از نمونه‌های شاهد شامل پلاسما فاقد ویروس بدون پرتودهی، پلاسما پرتو داده شده حاوی ویروس فاقد متیلن بلو، پلاسما همراه ویروس و متیلن بلو بدون پرتودهی استفاده گردید. تمامی آزمایش‌ها ۳ مرتبه تکرار گردید. تیتراسیون ویروس پس از غیر فعال سازی در پلیت‌های ۹۶ خانه‌ای انجام شد و کاهش تیترو ویروس با روش Reed-Muench محاسبه گردید (۱۴، ۱۳).

Real Time RT-PCR

استخراج RNA:

استخراج اسید نوکلئیک، با استفاده از کیت استخراج RNA (شرکت Roche) و مطابق با دستور کار شرکت سازنده انجام شد. حدود ۵ میلیون سلول در میلی لیتر در پلیت‌های ۲۴ چاهکی کشت داده شد و نمونه‌ها قبل و بعد از پرتودهی به چاهک‌ها اضافه شدند. پس از CPE، پلیت‌ها در روز سوم فریز شدند. برای استخراج RNA، محتویات هر چاهک در ۳۰۰ g به مدت ۵ دقیقه سانتریفیوژ شد و از سوسپانسیون آن جهت استخراج استفاده شد. جهت بررسی کیفیت RNA تخلیص شده، از دستگاه نانو دراپ استفاده شد. با استفاده از نسبت (OD ۲۶۰/۲۸۰)، خلوص RNA بیش از ۱/۹ مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین غلظت RNA در جذب نوری ۲۶۰ نانومتر، نیز محاسبه و در دمای ۷۰- درجه سانتی گراد نگهداری شد.

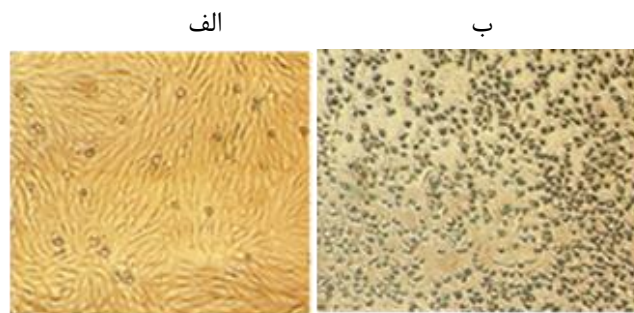
انجام شد و بر اساس تجزیه و تحلیل رگرسیون slope و R^2 برای هر دو ژن محاسبه گردید. برای تجزیه و تحلیل داده‌های Real Time PCR از نرم‌افزار REST استفاده شد. محاسبات آماری و تجزیه و تحلیل داده‌ها با نرم‌افزار SPSS-26 انجام شد و ضریب همبستگی پیرسون بین دو آزمایش محاسبه گردید.

یافته‌ها

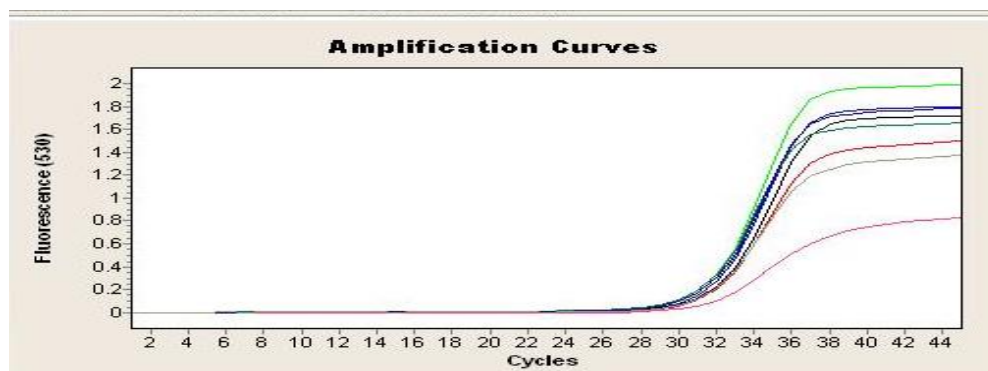
برای تعیین تیترو ویروس، سلول‌های vero با رقت‌های ۱۰ برابری از ویروس HSV-1 مجاور شده‌اند. اثر CPE، شامل گرد شدن سلول‌ها در مقابل سلول شاهد بدون مجاورت با ویروس با استفاده از میکروسکوپ اینورت مشاهده گردید و تیترو ویروس 5.0×10^7 TCID₅₀/mL محاسبه شد (شکل ۱).

تعداد کلی رقت‌ها؛ تعداد مشخص مورد نیاز کاپیلاری LightCycler در داخل Pre-cooled Centrifuge Adapters قرار داده شد. چیدمان کاپیلاری‌ها با سه تکرار برای HSV و GAPDH در گروه‌های شاهد؛ ویروسی؛ و رقت‌های از 10^{-1} تا 10^{-8} قرار داده شد. در داخل هر کاپیلاری LightCycler از پیش سرد شده $4 \mu\text{L}$ از Master Mix؛ $5 \mu\text{L}$ از cDNA؛ $5 \mu\text{L}$ آغازگر Forward و $1 \mu\text{L}$ از آغازگر Revers و $9 \mu\text{L}$ از ddH₂O افزوده شد. پس از سانتریفیوژ کاپیلاری، داخل دستگاه lightCycler قرار داده شد. مطابق جدول به دستگاه lightCycler برنامه داده شد (جدول ۱).

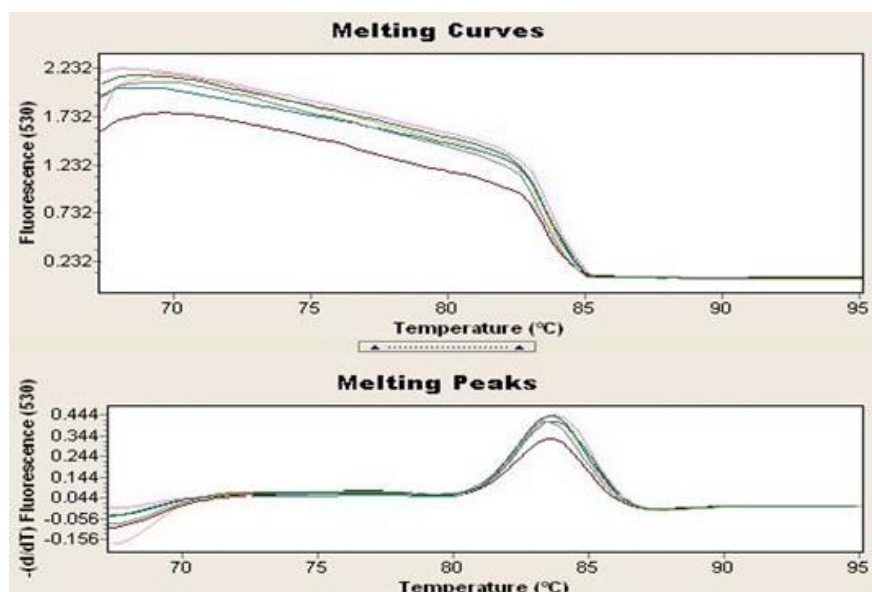
جهت بررسی کارایی تکثیر ژن‌ها با استفاده از رقت‌های سریالی از cDNA ژن‌های مورد مطالعه، رسم منحنی استاندارد انجام شد. برای این منظور، سری رقت‌هایی از cDNA های نمونه مورد مطالعه تهیه شد. واکنش q PCR



شکل ۱: اثر CPE در کشت سلول با استفاده از میکروسکوپ معکوس. الف) سلول‌های vero را نشان می‌دهد که سلول‌های تک لایه بدون اثر تخریب سلولی و بدون مجاورت با ویروس و به عنوان سلول کنترل می‌باشد. ب) سلول‌های vero با رقت‌های ۱۰ برابری با ویروس هریس مجاور شده‌اند و در میکروسکوپ معکوس آثار CPE که شامل گرد شدن سلول‌ها در مقابل سلول کنترل بدون مجاورت ویروس مشاهده گردید.



شکل ۲: نمودار تکثیر (Amplification) سه روز بعد از آلودگی سلول‌های vero با رقت‌های مختلف ویروس HSV-1 به عنوان کنترل ویروس بدون غیر فعال‌سازی با روش متیلن بلو و نور مرئی. محور عمودی شدت رنگ فلورسانس هر نمونه را در طول موج ۵۳۰ نانومتر نشان می‌دهد و محور افقی تعداد چرخه‌های هر نمونه که از خط آستانه عبور کرده و به صورت Ct گزارش می‌شود.



شکل ۳: نمودار melt curve analysis واکنش Real Time PCR جهت اختصاصی بودن واکنش. محور عمودی شدت رنگ فلورسانس هر نمونه را در طول موج ۵۳۰ نانومتر نشان می‌دهد و محور افقی دمای ذوب هر نمونه را نشان می‌دهد که برای تعیین اختصاصیت آمپلیکون‌ها در واکنش Real Time PCR استفاده شده است. جدا شدن دو رشته آمپلیکون‌ها از هم در دمای ۸۵ درجه سانتی‌گراد نشانه اختصاصی بودن واکنش Real Time PCR می‌باشد.

بدون غیر فعال سازی (10^7 TCID₅₀/mL)، برابر ۲۲/۶ ($C_t = 22/6$) و میانگین چرخه آستانه ژن گلیکوپروتئین D در نمونه پلاسما پس از غیر فعال سازی با روش متیلن بلو و نور مرئی (10^2 TCID₅₀/mL)، برابر ۲۸ ($C_t = 28$) بود، که کاهش معنادار بیان ژن گلیکوپروتئین D (10^2 TCID₅₀/mL) مشاهده شد ($p = 0/001$). بر اساس C_t های حاصله و نرم افزار Rest، بیان گلیکوپروتئین D در گروه کنترل (قبل از غیر فعال سازی) نسبت به گروه درمان (بعد از غیر فعال سازی)، ۱۵ برابر کاهش یافته بود ($p = 0/001$).

به دلیل استفاده از رنگ سایبرگرین در واکنش Real Time PCR و به علت اتصال غیر اختصاصی این رنگ به تمامی DNA های دورشته‌ای، برای اطمینان از اختصاصی بودن واکنش از melt curve analysis استفاده شد (شکل ۳). واکنش Real Time-PCR، تا 10^5 TCID₅₀/mL کاهش بیان گلیکوپروتئین D (GPD) را در محیط کشت سلول های Vero پس از غیر فعال سازی و بررسی (10^2 TCID₅₀/mL) نشان داد.

همبستگی بین $qRT-PCR$ و $TCID_{50}/mL$:

ارتباط بین مقادیر C_t به دست آمده از هر رقت ویروسی با تیتراژ 10^5 TCID₅₀/mL (در مقیاس Log) بررسی شدند. مقادیر C_t مرتبط به $qRT-PCR$ به دست آمده از غیر

پس از غیر فعال سازی ویروس HSV-1 با روش متیلن بلو و نور مرئی، تیتراسیون مجدد ویروس قبل و بعد از غیر فعال سازی انجام شد. تیتراژ ویروس‌ها پس از غیر فعال سازی 10^2 TCID₅₀/mL، محاسبه شد. کاهش لگاریتمی تیتراژ ویروس HSV-1؛ ۵ لوگ گزارش شد.

برای بررسی تیتراژ عفونت‌زایی ویروس با روش Real Time PCR، در روز سوم بعد از آلودگی به ویروس HSV-1 بدون رقت و با رقت‌های ۱۰ برابر قبل و بعد از غیر فعال سازی با روش متیلن بلو و نور مرئی، استخراج RNA و ساخت cDNA، با کمک آغازگرهای اختصاصی ژن‌های *GAPDH* و گلیکوپروتئین D (GPD) برای ویروس HSV-1 انجام شد. بر اساس C_t های به دست آمده از رقت‌های مختلف، نمودار منحنی استاندارد برای هر دو ژن مورد بررسی قرار گرفت و بر اساس تجزیه و تحلیل رگرسیون نتایج برای slope و R^2 برای هر دو ژن به ترتیب ۳/۱۵- و ۳/۲- و ۹۹٪ و ۹۹٪/۵ گزارش شد (شکل ۲). برای بررسی اختصاصی بودن آزمایش در واکنش PCR از melt curve analysis استفاده شد (شکل ۳).

برای هر رقت ویروسی سه تکرار انجام شد و با استفاده از نرم افزار Rest بیان ژن گلیکوپروتئین D در مقابل ژن رفرانس محاسبه شد. میانگین چرخه آستانه ژن گلیکوپروتئین D در کشت سلول حاوی ویروس HSV-1

فعال سازی ویروس با تیتراژ 5.0×10^4 TCID₅₀/mL محاسبه شده پس از غیر فعال سازی طبق روش Reed-Muench، با یکدیگر همبستگی داشتند ($r=0.98$ ، $p<0.001$).

بحث

برای کاهش بیشتر عفونت های منتقله از طریق خون (TTIs)، ویروس زدایی یک راهبرد است. برای بررسی مؤثر بودن روش غیر فعال سازی ویروسی، از اثر CPE روی سلول های کشت شده استفاده می شوند. در روش سنتی برای تعیین کمیت تیتراژ عفونی، تیتراسیون نقطه پایانی و محاسبه دوز 50% آلوده کننده کشت بافت در هر میلی لیتر (5.0×10^4 TCID₅₀/mL) استفاده می شود که به عنوان "بار ذرات عفونی ویروسی در واحد حجم که قادر به ایجاد اثر سیتوپاتیک در نیمی از کشت های سلولی آلوده هستند" تعریف می شود (۱۶-۱۸). این فرآیند نیاز به دانش وسیع در زمینه تکثیر و نگهداری کشت سلولی دارد، پر زحمت است و به طور متوسط سه تا چهار روز طول می کشد تا تکمیل شود. علاوه بر این، عفونت سلولی باید در یک آزمایشگاه با سطح ایمنی زیستی مناسب انجام شود. با توجه به دلایل فوق، در شرایط خاص، تیتراسیون نقطه پایانی ممکن است به دلیل فقدان یکی از حداقل الزامات فوق الذکر، عملی نباشد. همچنین تنوع سیستم بیولوژیکی می تواند به راحتی بر نتایج تأثیر بگذارد و استاندارد سازی این نوع کمیت نیز دشوار است. در واقع، تنوع بیولوژیکی به دلیل دشواری در کشت تعداد یکسانی از سلول ها، افزودن مقدار یکسانی از ویروس و توقف هم زمان عفونت، زیاد است. استراتژی های تشخیص و تکثیر اسید نوکلئیک، یعنی RT-PCR ممکن است به تعیین کمی بار ویروسی یا نیمه کمی در نمونه مورد نظر به همان اندازه حساس منجر شود. روش های نیمه کمی و کمی از نظر دقت نتیجه ای که در پایان تجزیه و تحلیل به دست می آورند، متفاوت هستند. در روش های نیمه کمی (qRT-PCR)، شدت فلورسانس ساطع شده پس از هر چرخه تکثیر ثبت می شود تا مقدار نسبی هدف تعیین شود و مقادیر آستانه چرخه (Ct) که به این ترتیب به دست می آیند، با مقدار بار ویروسی نسبت معکوس دارند، اما نمی توان آن ها را مستقیماً به معادل های تعداد کپی ژنوم تبدیل کرد. تعیین کمی نسبی کپی های هدف با استفاده از qRT-PCR مستلزم تولید یک منحنی استاندارد است.

از آن جایی که شناسایی CPE ناشی از ویروس ها در کشت سلول طولانی مدت (۵-۷ روز) است و گاهی با

تخریب سلول اشتباه می شود، بنابراین استفاده از روش های دیگر مانند Real Time RT-PCR در مقایسه با تکثیر ویروس هرپس بر روی سلول های VERO و مشاهده CPE با میکروسکوپ معکوس مورد بررسی قرار گرفت. در این مطالعه سلول های VERO با میزان پرشدگی ۹۰٪ (Confluency) در مجاورت رقت های مختلف ویروس هرپس با ۸ رقت لگاریتمی در نمونه پلاسما حاوی ویروس قبل و بعد از غیر فعال سازی با روش متیلن بلو و نور مرئی قرار گرفت و تیتراژ ویروس با روش مشاهده CPE و Real Time RT-PCR مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.

در این مطالعه تیتراژ ویروس 10^7 TCID₅₀/mL محاسبه شد. پس از غیر فعال سازی ویروس HSV-1 با روش متیلن بلو و نور مرئی، تیتراسیون مجدد ویروس قبل و بعد از غیر فعال سازی انجام شد. تیتراژ ویروس ها پس از غیر فعال سازی 10^2 TCID₅₀/mL محاسبه شد. کاهش لگاریتمی تیتراژ ویروس HSV-1 5 ؛ لوگ گزارش شد. در واکنش RealTime-PCR بر روی رقت های مختلف ویروس قبل و بعد از غیر فعال سازی در کشت سلول از 10^2 TCID₅₀/mL کاهش معنادار در مقادیر Ct و بیان گلیکوپروتئین (GPD) در محیط کشت سلول های Vero پس از غیر فعال سازی ویروسی یعنی 5.0×10^4 TCID₅₀/mL لوگ را نشان داد که با نتایج روش 5.0×10^4 TCID₅₀ مطابقت داشت. تأثیر غیر فعال سازی ویروس HSV-1 با روش متیلن بلو و نور مرئی با مطالعه الیکایی و همکاران مطابقت داشت و بیشترین کاهش لگاریتمی برای HSV به مقدار ۶/۲۸، لوگ با زمان پرتو دهی ۴۵ دقیقه بود (۱۲).

همچنین در این مطالعه بین مقادیر Ct مرتبط به qRT-PCR به دست آمده از غیر فعال سازی ویروس با تیتراژ 5.0×10^4 TCID₅₀/mL محاسبه شده پس از غیر فعال سازی ویروس با یکدیگر همبستگی داشتند که با مطالعه ای که بین دو روش qRT-PCR برای تعیین تعداد دقیق کپی های RNA ویروس کرونا سندرم حاد تنفسی ۲ (SARS-CoV-2) و تیتراسیون ویروس کرونا عفونی روی کشت های سلولی انجام شده بود، موافقت داشت که نشان داده بودند بین بار نسخه های RNA (Ct) ویروسی و تیتراژ عفونی ویروس با دوز آلوده کننده کشت بافت در هر میلی لیتر (5.0×10^4 TCID₅₀)/mL، همبستگی وجود داشته است (۱۱). از طرف دیگر، در مطالعه لوگان و همکاران نشان داده شد بین میزان گرانولوسیتی سلول که با روش فلوسایتومتری تعیین می شود با تیتراژ لگاریتمی ویروس عفونی ارتباط معناداری

عالی آموزشی و پژوهشی طب انتقال خون تأمین مالی شده است.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه به تایید شورای تحصیلات تکمیلی مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی انتقال خون ایران رسیده است.

عدم تعارض منافع

هیچ گونه تعارض منافع در مطالعه حاضر وجود ندارد.

نقش نویسندگان

لیلا موسوی دهاقانی: نگارش پایان نامه و انجام آزمایش‌ها
زهرا پاز: آموزش روش‌ها و کمک در اجرای آن
دکتر زهره شریفی: طراحی مطالعه، نظارت بر اجرای
پایان نامه و نگارش مقاله

تشکر و قدردانی

این تحقیق حاصل پایان‌نامه کارشناسی ارشد زیست فناوری مؤسسه عالی آموزشی و پژوهشی انتقال خون ایران است. بدین‌وسیله از این مؤسسه به خاطر حمایت‌های مالی آن تشکر می‌شود.

وجود دارد و شناسایی بدون فلورسنت غلظت ویروس عفونی از طریق فلوسایتومتری می‌تواند ابزار سریع و دقیق برای تعیین تیترو ویروس در نظر گرفته شود (۱۹).

در مطالعه گوستافسون و همکاران برای ارزیابی تیترو ویروس هرپس انسانی ۶ (HHV-6)، با استفاده از روش‌های q-PCR و ۵۰ TCID₅₀، به خوبی بیان پروتئین‌های ویروسی با روش ۵۰ TCID₅₀ همبستگی داشت و از ویژگی بالایی برای تعیین دوز عفونی برخوردار بود (۱۰).

نتیجه‌گیری

داده‌های ما همبستگی قوی بین تیترو ویروس (۵۰/mL) و TCID₅₀ با مقادیر Ct (بیان گلیکوپروتئین D) در روش qRT-PCR نشان داد. ۵۰/mL TCID₅₀ به دلیل تنوع استفاده از سیستم بیولوژیکی می‌تواند به راحتی بر نتایج تأثیر بگذارد و استانداردسازی این نوع کمیت را دشوار کند. روش‌های مولکولی مبتنی بر بیان گلیکوپروتئین D (gD mRNA) می‌تواند به عنوان یک هدف برای تشخیص عفونت فعال HSV مورد استفاده قرار گیرد.

حمایت مالی

این پروژه توسط مرکز تحقیقات انتقال خون، مؤسسه

References:

- 1- Yao C-Y, Fu W-L. Biosensors for hepatitis B virus detection. *World J Gastroenterol*. 2014; 20(35): 12485-92. [DOI:10.3748/wjg.v20.i35.12485] [PMID] []
- 2- Wang YF, Pang DW, Zhang ZL, Zheng HZ, Cao JP, Shen JT. Visual gene diagnosis of HBV and HCV based on nanoparticle probe amplification and silver staining enhancement. *J Med virol*. 2003; 70(2): 205-11. [DOI:10.1002/jmv.10379] [PMID]
- 3- Quint WG, Heijtkink RA, Schirm J, Gerlich WH, Niesters HG. Reliability of methods for hepatitis B virus DNA detection. *J Clin Microbiol*. 1995; 33(1): 225-8. [DOI:10.1128/jcm.33.1.225-228.1995] [PMID] []
- 4- Elikaei A, Hosseini SM, Sharifi Z, Latifi H, Nikbakht H, Mirshafiee H, et al. Methylene blue based device for pathogen reduction in human plasma. *Iran J Ped Hematol Oncol*. 2013; 3(3): 97-102.
- 5- Ryan KJ, Ray CG. Medical microbiology: An introduction to infectious diseases: McGraw-Hill; Medical Publishing Division. 2004. 4th edition.
- 6- Mettenleiter TC, Klupp BG, Granzow H. Herpesvirus assembly: a tale of two membranes. *Curr Opin Microbiol*. 2006; 9(4): 423-9. [DOI:10.1016/j.mib.2006.06.013] [PMID]
- 7- McGeoch DJ, Rixon FJ, Davison AJ. Topics in herpesvirus genomics and evolution. *Virus research*. 2006; 117(1): 90-104. [DOI:10.1016/j.virusres.2006.01.002] [PMID]
- 8- Clarke RW. Forces and Structures of the Herpes Simplex Virus (HSV) Entry Mechanism. *ACS Infectious Diseases*. 2015; 1(9): 403-15. [DOI:10.1021/acsinfecdis.5b00059] [PMID]
- 9- Akhtar J, Shukla D. Viral entry mechanisms: cellular and viral mediators of herpes simplex virus entry. *FEBS J*. 2009; 276(24): 7228-36. [DOI:10.1111/j.1742-4658.2009.07402.x] [PMID] []
- 10- Gustafsson RK, Engdahl E, Fogdell-Hahn A. Development and validation of aQ-PCR based TCID₅₀ method for human herpesvirus 6. *Viol J*. 2012; 9: 311. [DOI:10.1186/1743-422X-9-311] [PMID] []
- 11- Brandolini M, Taddei F, Marino MM, Grumiro L, Scalcione A, Turba ME, et al. Correlating qRT-PCR, dPCR and Viral Titration for the Identification and Quantification of SARS-CoV-2: A New Approach for Infection Management. *Viruses*. 2021; 13(6): 1022. [DOI:10.3390/v13061022] [PMID] []
- 12- Elikaei A, Sharifi Z, Hosseini SM, Latifi H, Musavi Hosseini MK. Inactivation of model viruses suspended

- in fresh frozen plasma using novel methylene blue based device. Iran J Microbiol. 2014; 6: 41-5.
- 13- Reed LJ, Muench H. A Simple Method of Estimating Fifty Percent Endpoints. Am J Epidemiol. 1938; 27, 493-7. [DOI:10.1093/oxfordjournals.aje.a118408] []
 - 14- Lei C ,Yang J , Hu J, Sun X. On the Calculation of TCID50 for Quantitation of Virus Infectivity. Virol Sin. 2021; 36(1), 141- 4. [DOI:10.1007/s12250-020-00230-5] [PMID] []
 - 15- Zamanian M, Sharifi Z, Noormohammadi Z, Akbarzadeh T, Bineshian F. Antiviral effect of Artemisia aucheri aqueous extract on UL46 and US6 genes of HSV-1. Antivir Ther. 2021; 26(1-2): 43-8. [DOI:10.1177/13596535211039907] [PMID]
 - 16- Stelzer-Braid S, Walker GJ, Aggarwal A, Isaacs SR, Yeang M, Naing Z, et al. Virus isolation of severe acute respiratory syndrome coronavirus 2 (SARS-CoV-2) for diagnostic and research purposes. Pathology .2020; 52: 760-3. [DOI:10.1016/j.pathol.2020.09.012] [PMID] []
 - 17- Lei C, Yang J, Hu J, Sun X. On the Calculation of TCID50 for Quantitation of Virus Infectivity. Virol Sin. 2021; 36: 141-4. [DOI:10.1007/s12250-020-00230-5] [PMID] []
 - 18- Amanat F, White KM, Miorin L, Strohmeier Sh, McMahon M, Meade P, et al. An In Vitro Microneutralization Assay for SARS-CoV-2 Serology and Drug Screening. Curr Protoc Microbiol. 2020; 58(10): e108. [DOI:10.1002/cpmc.108] [PMID] []
 - 19- Logan M, Manalil J, Notte Ch, Kearse C, George S, Zeiser A, et al. A flow cytometric granularity assay for the quantification of infectious virus. Vaccine . 2019; 37(47): 7090- 9. [DOI:10.1016/j.vaccine.2019.02.059] [PMID]