پژوهشی

# اندازه گیری خواص مکانیکی مغز موش با استفاده از تست کشش

**علی‌رضا کریمی*- دکتر احمد شجاعی**- دکتر مهدی نویدبخش***- دکتر برهان بیگ‌زاده****- دکتر شهاب فقیهی*****

* دانشجوی دکترای مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

** دانشیار دانشگاه علوم پزشکی بقیه اله

*** دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

**** استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران

***** استادیار دپارتمان مهندسی بافت، پژوهشگاه ملی مهندسی ژنتیک و زیست فناوری

## چکیده

**زمینه و هدف:** محاسبه خواص مکانیکی بافت مغز به منظور داشتن درک کامل و جامع از تغییرات ایجادی در آن، می‌تواند بسیار سودمند و کاربردی باشد. بافت مغز در زمره بافت‌های خیلی نرم قرار می‌گیرد که نمی‌تواند بار زیادی را تحمل کند. خواص مکانیکی این بافت می‌تواند در شرایط خاصی از بیماری تغییر یابد. پلاسمودیوم فالسیپاروم (Plasmodium falciparum) یکی از انواع انگل‌های کشنده مالاریا است که می‌تواند با تغییر در خواص مکانیکی گلبول قرمز خون، منجر به این تغییر شود. تغییر خواص در بافت مغز در پلاسمودیوم فالسیپاروم، مالاریای مغزی نامیده می‌شود که با گیرکردن گلبول‌های قرمز آلوده در مغز ایجاد می‌شود. گیر کردن گلبول‌های قرمز آلوده که نسبت به گلبول‌های قرمز سالم بسیار سخت‌تر شده‌اند، می‌تواند منجر به کما در بیمار و در نهایت مرگ آن شود. بنابراین می‌توان با محاسبه و بررسی روند تغییرات خواص مکانیکی در بافت مغز آلوده به انگل پلاسمودیوم فالسیپاروم نکاتی را درباره آن آشکار کرد. اما به دلیل محدودیت‌های موجود در بررسی این بیماری در پلاسمودیوم فالسیپاروم، مدل حیوانی آن یعنی پلاسمودیوم برگه‌ای نوع آنکا (Plasmodium berghei–ANKA) می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد که در ایجاد مالاریای مغزی با انگل پلاسمودیوم فالسیپاروم شباهت های بسیاری دارد.

**روش‌ها:** در مطالعه حاضر پس از آلوده کردن هفت موش به انگل پلاسمودیوم برگه ای نوع آنکا، بافت مغز آن‌ها جدا شده و برای بررسی خواص مکانیکی در دستگاه تست کشش قرار گرفت. نمودار تنش-کرنش برای هر نمونه استخراج گردید و از ناحیه الاستیک خطی هر نمودار میزان دقیق سختی (مدول الاستیک) برای هر نمونه به دست آمد. در این جا منظور از تنش و کرنش به ترتیب حاصل نیروی اعمالی به نمونه بر مساحت آن، و میزان تغییر طول نمونه نسبت به طول اولیه آن می باشد. همچنین منظور از مدول الاستیک حاصل تقسیم تنش بر کرنش در ناحیه خطی نمودار تنش-کرنش می باشد.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که با افزایش میزان رشد انگل در خون موش از ۱/۵٪ به ۶٪، میزان سختی مغز ۳/۴۴ برابر گردید. در حالی که همین مقایسه بین میزان انگل در خون ۵/۵٪ با ۶٪، حکایت از افزایش ۱/۷۸ برابری داشت. اما مقایسه بین نمونه مغزهای کنترل و مغز آلوده با میزان انگل ۶٪، نشان از افزایش ۴/۰۷٪ مدول یانگ مغز داشت.

**نتیجه‌گیری:** نتیجه‌ای که از تلاش حاضر می‌توان گرفت این است که با رشد میزان انگل در خون، سختی مغز با رابطه‌ای کاملا مستقیم افزایش می‌یابد. انتظار این است که عامل اصلی این سختی در مغزهای آلوده به پلاسمودیوم برگه‌ای نوع آنکا، سخت شدن گلبول‌های قرمز و گیرکردن آن‌ها در عروق مغزی باشد.

**واژگان کلیدی:** مالاریا، پلاسمودیوم برگه‌ای نوع آنکا ، بافت مغز، خواص مکانیکی، مدول الاستیک

وصول مقاله: ۱۳۹۲/۴/۶ تأیید مقاله: ۱۳۹۲/۸/ ۴

نویسنده پاسخگو: تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مکانیک، ۱۶۸۴۴، تلفن : ۷۷۲۴۰۵۴۳-۰۲۱ mnavid@iust.ac.ir

## مقدمه

مالاریا به عنوان خطرناک‌ترین بیماری انگلی جهان از سوی سازمان جهانی بهداشت معرفی شده است. همینطور این سازمان اعلام داشته است که هرساله حدود ۳۰۰ میلیون نفر در سراسر دنیا به انگل کشنده پلاسمودیوم فالسیپاروم (Plasmodium falciparum) آلوده می‌شوند. به علاوه سالانه ۲ میلیون کودک در کشورهای آفریقایی جان خود را تسلیم این بیماری انگلی می‌کنند (۲, ۱) که نشان‌دهنده اهمیت زیاد این بیماری انگلی می‌باشد. در حال حاضر ۱۰۹ کشور

[ Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-02 ]

مالاریـا خیـز با بیش از ۳ میلیـارد نفر جمعیت در معـرض خطر این بیمـاری انگلـی در دنیا وجـود دارد. ۴ نوع پلاسـمودیوم از انواع انگل مالاریا در دنیا شـناخته شـده اسـت که شامل: پلاسـمودیوم مالاریه، پلاسـمودیوم اواله، پلاسـمودیوم ویواکس، و پلاسـمودیوم فالسیپاروم است. اما پلاسمودیوم فالسـیپاروم خود را به عنوان خطرناک‌ترین نوع انگل مالاریا معرفی کرده است که می‌تواند منجر به مالاریای مغزی در انسان شود. علت اصلی مالاریای مغزی، گلبول‌های قرمز آلوده و سخت شـده‌ای که در عروق مغزی گیـر می‌کنند. گیر کردن گلبول‌های قرمز سـخت شده و تغیر شکل یافته از حالت سالم (۳)، که می‌تواند شخص را بـه کما بـرده و در نهایت جان او را بگیـرد. همچنین این مطالعات نشان داده‌اند که مالاریای مغزی می‌تواند بعضی از خصوصیات فیزیکی مغـز را تحت‌تاثیر قرار دهد. اما می‌توان با آلـوده کردن موش به انگل پلاسـمودیوم برگه‌ای نوع آنکا این شرایط را به طور کامل در یک مدل حیوانی ایجاد کرده و به بررسی آن پرداخت (۴). مطالعات حاکی از این است که، گلبول‌های قرمز آلوده و سخت شده، در برخورد با سلول‌های دیواره‌ای عروق مغزی باعث ایجاد آسـیب به آن ها می‌شـوند که بعضا خون‌ریـزی را در این نواحی ایجاد می‌کنـد و در نهایت به بافت مغزی آسیب جبران‌ناپذیری را وارد می‌کنند. همچنین سمی که این انگل در مغز بر جای می‌گذارد، اثرات بسـیار خطرناکـی در عملکرد مغز ایجاد می‌کند. به علاوه گیر کردن گلبول‌های قرمز آلوده در عروق مغز، باعث مسـدود کردن راه عبور جریان خون شده و در نتیجه فشار خون را در مغز بالا برده و حجم آن را افزایش می‌دهد (۴, ۳).

به هر حال ضروری به نظر می‌رسـد تا مشکلات ذکر شده بر روی مدل‌های مناسب از جمله انسان، خوک، و یا جوندگان (موش) به دقت مورد بررسی قرار گیرد. اما با توجه به محدودیت‌های موجود در بررسی بر روی مغز انسـان، مدل جوندگان می‌تواند بسـیار مناسـب و ایده‌آل باشـد. زیرا مدل موش خصوصیت‌های یکسـان بسیاری با مدل انسانی دارد و مالاریای مغزی که نکته مهمی در کار حاضر محسـوب می‌شود، در موش هم، به طور کاملا یکسـان با انسان ایجاد می‌شود (۷-۴ ، ۲). امـا محدودیت‌هایی در بررسـی خصوصیات مکانیکـی مغز وجود دارد که منجر به این موضوع شـده است که تا به حال هیچ گونه مطالعه‌ای در مـورد تفاوت‌های مکانیکی به وجود آمده بیـن بافت مغز در حالت سـالم و بیمار انجام نشود (۸). ولی محاسـبه این خصوصیات می‌تواند کاربردهای بسیاری در تحقیقات پزشکی، آزمایشگاهی و درمانی داشته باشـد. مدل‌های آزمایشـی مغز، که امروزه در این شبیه‌سازی‌ها مورد اسـتفاده قرار می‌گیرد بـه دلیل نبود خواص مکانیکـی دقیق، فقط از خـواص آناتومیکی بهـره می‌گیرند، کـه البته تلاش حاضـر می‌تواند این مشـکل را مرتفع سـازد (۹,۱۰). ولی هنوز هم تعیین خصوصیات مکانیکی بافت‌های نرم از دیدگاه آزمایشـگاهی و تحلیلی با چالش‌های زیادی روبرو اسـت، زیرا این‌گونه بافت‌های نرم نمی‌توانند بار زیادی را تحمل کنند و بررسـی و تحلیل را با مشـکل روبرو می‌کنند. همچنین مدل‌های ریاضی- مکانیکی بافت مغز می‌تواند از خواص مکانیکی دقیق مغـز بهره‌مند گردند و مدل‌های مناسـب‌تری را ارایه دهند (۱۷-۱۱). مطالعاتی که تاکنون انجام شـده است فقط بر روی بافت مغز در حالت سالم بوده است و هیچ‌گونه بررسی در مورد بافت مغز در حالت بیمار و یا آلوده صورت نگرفته است (۹).

در مطالعـه حاضر با آلـوده کردن ۷ موش به انگل پلاسـمودیوم برگـه‌ای نوع آنکا، نمودار تنش-کرنش برای هرکـدام از بافت‌های مغز اسـتخراج گردید و مدول الاسـتیک آن ها در ناحیـه خطی (هوکین) تعیین گردید.

## روش بررسی

### آماده‌سازی نمونه‌ها

۹ مغز مـوش مرد ۱۲-۱۰ هفتـه‌ای (وزن بین ۲۵۰-۲۴۰ گـرم) برای آزمایش اسـتفاده شـدند. ۷ موش با حـدود $۱\times۱۰^{۶}$ انگل پلاسـمودیوم کـه منجر به مالاریای مغزی موشـی می‌شـود از ناحیه شـکمی آلوده شـدند. تمام موش‌ها در شرایط سـالم و پاک نگهداری می‌شـدند و در گروه‌هـای ۳ تایی در قفس‌های پلاسـتیکی نگهداری می‌شـدند. موش‌ها در طول مدت نگهداری از ۱۲ سـاعت روشـنایی و ۱۲ سـاعت تاریکی بهره‌مند بودند و از غذا و آب سـالم و کافی تغذیه می‌کردند.

پس از آلوده‌سـازی، مرگ آن‌ها هر دو یا سـه روز یکبار بررسـی می‌شد. موش‌های آلوده در حدود ۹-۷ روز پس از آلودگی مردند. میزان آلودگی در موش‌ها هر روز با گرفتن مقداری خون از آنها و قرار دادن بر روی لام، و رنگ‌آمیزی بررسـی می‌شد. پس از جداسازی مغز موش‌ها، مقدار مناسبی از مغز از ناحیه یکسان در همه موش‌ها استخراج گردید کـه در مطالعه حاضر بین ناحیه سـفید و خاکسـتری تفاوتی در نظر گرفته نشـده اسـت (۱۸). میزان آلودگی در موش‌هـای مورد نظر در مطالعه حاضر بین ۷۲۰-۱۲۰ (۹٪-۱/۵٪) بود.

بافت‌های مغزی طبق روشـی که در کار (۱۲) توضیح داده شـده بودند برای تسـت تک محوری آماده شـدند. نمونه‌های استوانه‌ای که حدود ۱۵ میلی‌متر قطر و همین‌طور ۱۵ میلیمتر ارتفاع داشـتند، برای انجـام آزمایش آماده گردیدند. این کار توسـط لوله آهنی که برای این منظور تهیه شده بود، صورت گرفت. لبه‌های لوله آهنی تیز شده بودند تا برش بافت، دقیق و به درستی صورت پذیرد. به دلیل چسبیدن بافت مغـز به دیواره داخلی لوله، از چاقوی جراحی برای جداسـازی بافت از دیواره لوله استفاده شد. به هر حال به دلیل مشکل بودن این کار شاید کمی تغییر در اندازه نمونه‌ها ایجاد می‌گردید که به همین دلیل سطح و ارتفاع متوسط برای نمونه‌ها به دست آمد و در محاسبات وارد گردید.

### دستگاه آزمایش

تسـت کشـش تک محوری توسط دسـتگاه دقیقی که به همین



[ Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-02 ]

منظور تهیه گردیده بود، صورت پذیرفت (۲۰, ۱۹).

به طور خلاصه، نمونه‌های استوانه‌ای تهیه شده به گیره‌ها دستگاه کشش تهیه شده توسط چسب جراحی (Surgical glue cyanoacrylate type, ETHICON, USA) چسبانده شدند و برای مدت ۲۰ ثانیه در همان حالت باقی می‌ماندند تا خوب محکم شوند. سپس با اعمال نیرویی در حدود ۰/۰۲ نیوتن از چسبانده شدن نمونه‌ها به گیره‌ها اطمینان حاصل شد. در ادامه نیرو تا حد گسیختگی به نمونه‌ها اعمال گردید و نمودار تنش-کرنش برای آن‌ها رسم گردید.

## نتایج

نمونه مغز و شماتیک نیروی اعمالی به آن به ترتیب در شکل‌های ۱ نشان داده شده است. جدول ۱ مدول الاستیک و میزان آلودگی هر نمونه را به طور کامل نشان می‌دهد.

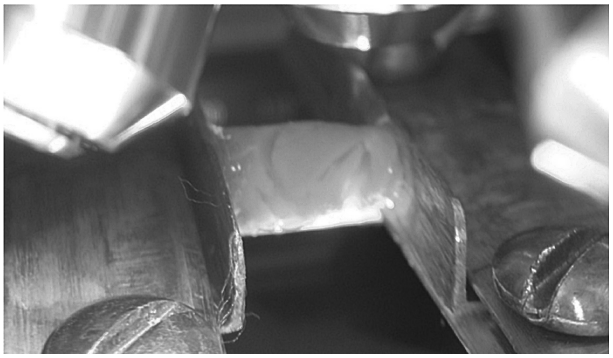
مقایسه بین ۵/۵٪ و ۶٪ میزان آلودگی تنها ۱/۸۷ برابر افزایش سختی را نشان می‌دهد. همچنین مقایسه بین نمونه‌های کنترل و ۶٪ آلودگی، بیش‌تر از ۴/۰۷ برابر سختی را ایجاد کرده است. نتایج این مطلب را تصریح می‌نماید که بین میزان آلودگی و سختی ایجادی در مغز رابطه مستقیمی وجود دارد. به طوری که با افزایش میزان آلودگی، سختی هم افزایش می‌یابد.

## بحث

مطالعه انجام شده در (۲۲، ۲۱) نشان داده است که گلبول‌های قرمز آلوده به انگل پلاسمودیوم فالسیپاروم سخت‌تر از گلبول‌های

**جدول ۱- میزان انگل در خون نمونه‌ها و مدول الاستیک هرکدام از آن‌ها را نشان می‌دهد**

| میزان انگل | مدول الاستیک (کیلوپاسکال) |
|---|---|
| کنترل اول | ۴۶/۱۵ |
| کنترل دوم | ۴۷/۱۲ |
| ٪۱/۵ | ۵۴/۵۴ |
| ٪۲ | ۶۰/۰۸ |
| ٪۳ | ۸۰/۰۱ |
| ٪۴ | ۸۵/۷۱ |
| ٪۵/۵ | ۱۰۰/۱۲ |
| ٪۶ | ۱۰۰/۰۳ |
| ٪۹ | ۲۶۶/۶۷ |



**شکل ۱- نمونه استوانه‌ای شکل بافت مغز در دستگاه کشش محوری.**

قرمز سالم می‌شوند. همچنین اشاره گردید که پلاسمودیوم فالسیپاروم و پلاسمودیوم برگه‌ای نوع آنکا شباهت‌های بسیاری را در ایجاد مالاریای مغزی با یکدیگر دارند (۲۵-۲۳). پس می‌توان این مطلب را بیان کرد که سختی ایجاد شده در بافت‌های مغز آلوده ناشی از سختی گلبول‌های قرمز آلوده‌ای است که در عروق مغزی گیر کرده‌اند. همچنین گلبول‌های قرمز سخت شده‌ای که در عروق مغزی گیر کرده‌اند، باعث افزایش فشار خون در این عروق شده و همینطور حجم مغز را افزایش می‌دهند. به علاوه آن‌ها می‌توانند سلول‌های دیواره مغز را نابود کرده و خونریزی در مغز را باعث شوند. تمام عوامل ذکر شده می‌تواند منجر به تغییر خواص مغز شده و در نهایت منجر به سختی مغز گردد (۲۷، ۲۶). هم چنین نتایج مربوط به نمودار تنش-کرنش در قبلی این گروه ذکر شده است (۲۸).

## خلاصه و نتیجه‌گیری

در مطالعه‌ای که صورت پذیرفت، تلاش شد تا با آلوده کردن تعدادی موش به انگل پلاسمودیوم برگه‌ای نوع آنکا، تغییر خاصیت مکانیکی مغز را در حالت آلوده نسبت به حالت سالم مورد بررسی قرار دهیم. به این منظور مغز موش‌های آلوده استخراج شده و در دستگاه کشش تک محوری قرار گرفت، و نمودار تنش-کرنش هر نمونه به طور مشخص استخراج گردید. نتایج با بافت مغز سالم مقایسه گردید. نتایج این مطلب را بیان می‌کرد که میزان رشد انگل در خون موش کاملا در ارتباط با میزان افزایش سختی در بافت مغز است. به این ترتیب که با افزایش میزان آلودگی، سختی مغز هم افزایش می‌یابد. ما بر این باور هستیم که گلبول‌های قرمز آلوده و سخت شده‌ای که در عروق مغزی گیر کرده‌اند، این سختی را در بافت مغز باعث شده‌اند. نتایج پژوهش حاضر می‌تواند در مدل‌سازی‌های مکانیکی، ایجاد مدل‌های شبیه‌سازی برای جراحان و پزشکان، و همچنین مطالعه‌های کلینیکی و درمانی مورد استفاده قرار بگیرد. به هر حال مطالعه حاضر می‌تواند با بررسی بر روی نمونه‌های بیشتر مورد تحلیل و بررسی بهتری قرار بگیرد.



[ Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-02 ]

**تقدیر و تشکر**

با تشـــکر فراوان از حمایت‌های آزمایشـــگاهی دانشـــکده مکانیک دانشـــگاه علم و صنعت ایران و همچنین سازمان پزشکی قانونی کشور که بدون کمک آن‌ها انجام این کار میسر نمی‌شد.

## References

1- Medana IM, Turner GD. Human cerebral malaria and the blood-brain barrier. Int J Parasitol 2006; 36(5): 555-568.

2- Core A, Hempel C, Kurtzhals JA, Penkowa M. Plasmodium berghei ANKA: erythropoietin activates neural stem cells in an experimental cerebral malaria model. Exp Parasitol 2011; 127(2): 500-505.

3- Karimi A, Navidbakhsh M, Motevalli Haghi A, Faghihi S. An innovative shape equation to quantify the morphological characteristics of parasitized red blood cells by Plasmodium falciparum and Plasmodium vivax. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine 2013; 227(4): 428-437.

4- Combes V, El-Assaad F, Faille D, Jambou R, Hunt NH, Grau GE. Microvesiculation and cell interactions at the brain-endothelial interface in cerebral malaria pathogenesis. Prog Neurobiol; 91(2): 140-151.

5- Lirussi F, Pussard E. Quinine distribution in pregnant mice with Plasmodium berghei malaria. Eur J Pharm Sci 2006; 28(4): 284-290.

6- Schmidt KE, Schumak B, Specht S, Dubben B, Limmer A, Hoerauf A. Induction of pro-inflammatory mediators in Plasmodium berghei infected BALB/c mice breaks blood-brain-barrier and leads to cerebral malaria in an IL-12 dependent manner. Microbes Infect; 13 (10): 828-836.

7- Golenser J, McQuillan J, Hee L, Mitchell AJ, Hunt NH. Conventional and experimental treatment of cerebral malaria. Int J Parasitol 2006; 36(5): 583-593.

8- Sack I, Beierbach B, Wuerfel J, Klatt D, Hamhaber U, Papazoglou S, et al. The impact of aging and gender on brain viscoelasticity. Neuroimage 2009; 46(3): 652-657.

9- Kaster T, Sack I, Samani A. Measurement of the hyperelastic properties of ex vivo brain tissue slices. J Biomech 2011; 44(6): 1158-1163.

10- Van Dommelen JA, van der Sande TP, Hrapko M, Peters GW. Mechanical properties of brain tissue by indentation: interregional variation. J Mech Behav Biomed Mater 2010; 3(2): 158-166.

11- Morriss L, Wittek A, Miller K. Compression testing of very soft biological tissues using semi-confined configuration--a word of caution. J Biomech 2008; 41(1): 235-238.

12- Miller K. How to test very soft biological tissues in extension? J Biomech 2001; 4(5): 651-657.

13- Miller K. Method of testing very soft biological tissues in compression. J Biomech 2005; 8(1): 153-158.

14- Miller K, Chinzei K. Constitutive modelling of brain tissue: experiment and theory. J Biomech 1997; 30(12-11): 1115-1121.

15- Miller K, Chinzei K, Orssengo G, Bednarz P. Mechanical properties of brain tissue in-vivo: experiment and computer simulation. J Biomech 2000; 33(11): 1369-1376.

16- Miller K, Chinzei K. Mechanical properties of brain tissue in tension. J Biomech 2002; 35(4): 483-490.

17- Davis GB, Kohandel M, Sivaloganathan S, Tenti G. The constitutive properties of the brain paraenchyma Part 2. Fractional derivative approach. Med Eng Phys 2006; 28(5): 455-459.

18- Libertiaux V, Pascon F, Cescotto S. Experimental verification of brain tissue incompressibility using digital image correlation. J Mech Behav Biomed Mater; 4(7): 1177-1185.

19- Karimi A, Navidbakhsh M, Shojaei A, Faghihi S. Measurement of the uniaxial mechanical properties of healthy and atherosclerotic human coronary arteries. Materials Science and Engineering: C 2013; 33(5): 2550-2554.

20- Karimi A, Navidbakhsh M, Faghihi S, Shojaei A, Hassani K. A finite element investigation on plaque vulnerability in realistic healthy and atherosclerotic human coronary arteries. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine 2013; 227(2): 148-160.



[ Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-02 ]

21- Suwanarusk R, Cooke BM, Dondorp AM, Silamut K, Sattabongkot J, White NJ, et al. The deformability of red blood cells parasitized by Plasmodium falciparum and P. vivax. J Infect Dis 2004; 189(2): 190-194.

22- Fedosov DA, Caswell B, Suresh S, Karniadakis GE. Quantifying the biophysical characteristics of Plasmodium-falciparum-parasitized red blood cells in microcirculation. Proc Natl Acad Sci USA 2010; 108(1): 35-39.

23- Van der Heyde HC, Nolan J, Combes V, Gramaglia I, Grau GE. A unified hypothesis for the genesis of cerebral malaria: sequestration, inflammation and hemostasis leading to microcirculatory dysfunction. Trends Parasitol 2006; 22(11): 503-508.

24- Adams S, Brown H, Turner G. Breaking down the blood-brain barrier: signaling a path to cerebral malaria? Trends Parasitol 2002; 18(8): 360-366.

25- Sarfo BY, Wilson NO, Bond VC, Stiles JK. Plasmodium berghei ANKA infection increases Foxp 3, IL-10 and IL-2 in CXCL-10 deficient C57 BL/6 mice. Malar J 2011; 10: 69.

26- Martins YC, Smith MJ, Pelajo-Machado M, Werneck GL, Lenzi HL, Daniel-Ribeiro CT, et al. Characterization of cerebral malaria in the outbred Swiss Webster mouse infected by Plasmodium berghei ANKA. Int J Exp Pathol 2009; 90(2): 119-130.

27- Ohayon A, Golenser J, Sinay R, Tamir A, Altman A, Pollack Y, et al. Protein kinase C theta deficiency increases resistance of C57 BL/6J mice to Plasmodium berghei infection-induced cerebral malaria. Infect Immun 2010; 78(10): 4195-4205.

28- Karimi A, Navidbakhsh M, Motevalli Haghi A, Faghihi S. Measurement of the uniaxial mechanical properties of rat brains infected by Plasmodium berghei ANKA. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part H: Journal of Engineering in Medicine 2013; 227(5): 609-614.



[ Downloaded from sjfm.ir on 2026-11-02 ]