

Effect of Saponin on Cerebral Edema Rate in An Animal Model of Stroke

Elmira Shiri¹,
Mohammad Reza Bigdeli²,
Akram Eidi³,
Seyed Pejman Mortazavi⁴

¹ PhD Student in Animal Physiology, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

² Associate Professor, Department of Animal Sciences and Marine Biology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

³ Professor, Department of Biology, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

⁴ Associate Professor, Department of Veterinary, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

(Received June 15, 2022 ; Accepted September 17, 2022)

Abstract

Background and purpose: Oxidative stress and neuroinflammation are the main causes of cerebral ischemia. Saponin with steroid or triterpenoid compounds with a sugar part has strong antioxidant and anti-inflammatory properties. The aim of this study was to evaluate the effect of saponin on cerebral edema, Bax gene expression level, and ischemic neurological defects.

Materials and methods: In this experimental study, 24 male Wistar rats were divided into three groups: sham, stroke, and stroke+saponin. Rats in the stroke+saponin group received intravenous injection of saponin (3mg/kg) 30 minutes before cerebral ischemia. Each group was divided into two subgroups: brain edema (n=5) and gene expression level investigation (n=3). Cerebral ischemia was induced by middle cerebral artery occlusion model. After 24 hrs, we investigated neurological deficits resulting from ischemia (Kruskal-Wallis test), the degree of brain edema, and Bax gene expression levels in the cortex, piriform cortex-amygdala, striatum, and hippocampus (one-way ANOVA).

Results: Findings indicated a significant decrease in the score of neurological defects resulting from ischemia, the amount of cerebral edema, and the level of Bax gene expression in stroke+saponin group ($P<0.05$).

Conclusion: This study showed that saponin pretreatment in rats with ischemia-reperfusion injury can be effective in reducing the damage caused by cerebral ischemia.

Keywords: stroke, cerebral edema, saponin, Bax

J Mazandaran Univ Med Sci 2022; 32 (214): 43-54 (Persian).

Corresponding Author: Mohammad Reza Bigdeli - Shahid Beheshti University, Tehran, Iran.
(E-mail: Bigdelimohammadreza@yahoo.com)

بررسی اثر ساپونین بر میزان ادم مغزی در مدل جانوری سگته مغزی

المیرا شیری¹
محمدرضا بیگدلی²
اکرم عیدی³
سید پژمان مرتضوی⁴

چکیده

سابقه و هدف: استرس اکسیداتیو و التهاب عصبی از اصلی ترین عوامل ایجاد ایسکمی مغزی، می باشد. ساپونین با ترکیبات استروئیدی یا تری ترپنوئیدی همراه با یک بخش قندی، یک آنتی اکسیدان قوی و ضد التهاب محسوب می شود. این مطالعه با هدف بررسی اثر ساپونین بر میزان ادم مغزی، سطح بیان ژن Bax و نقص های نورولوژیکی حاصل از ایسکمی انجام گرفت.

مواد و روش ها: در این مطالعه تجربی 24 سر موش صحرایی نر نژاد ویستار به 3 گروه شام، سگته و سگته+ساپونین تقسیم شدند. موش های صحرایی گروه سگته+ساپونین 30 دقیقه پیش از ایسکمی مغزی، ساپونین (3mg/kg) را با تزریق وریدی دریافت نمودند. هر گروه به دو زیر گروه ادم مغزی (5تایی) و بررسی سطح بیان ژن (3تایی) تقسیم بندی شدند. ایسکمی مغزی با مدل انسداد شریان مغزی - میانی القا شد. 24 ساعت بعد ارزیابی نقص های نورولوژیکی حاصل از ایسکمی (آزمون کرومکال والیس)، میزان ادم مغزی و سطح بیان ژن Bax در بخش های کورتکس، کورتکس پری فرم - آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ (آزمون ANOVA یک طرفه) بررسی شد.

یافته ها: نتایج این پژوهش کاهش معنی داری را در امتیاز نقص های نورولوژیکی حاصل از ایسکمی، میزان ادم مغزی و سطح بیان ژن Bax در گروه تجربی سگته+ساپونین نشان داده است ($P < 0/05$).

استنتاج: بر اساس یافته های این مطالعه، پیش درمان با ساپونین در موش های صحرایی متحمل ایسکمی - خونرسانی مجدد می تواند در کاهش آسیب های حاصل از ایسکمی مغزی موثر باشد.

واژه های کلیدی: سگته مغزی، ادم مغزی، ساپونین، Bax

مقدمه

معلولیت پس از ایسکمی در حال افزایش است. کشورهای با درآمد متوسط رو به پایین و طول عمر زیاد (در شرق آسیا، اروپای مرکزی و شرقی) بیش ترین آمار ایسکمی را به خود اختصاص داده اند (2).

سگته مغزی از اصلی ترین بیماری های عصبی کشنده و پنجمین علت مرگ و میر در افراد 15 تا 59 ساله در سراسر جهان است (1). اگرچه میزان مرگ و میر ناشی از سگته مغزی سیر کاهشی دارد، اما تعداد افراد دچار

E-mail: Bigdelimohammadreza@yahoo.com

مؤلف مسئول: محمدرضا بیگدلی - تهران: دانشگاه شهید بهشتی

1. دانشجوی دکتری فیزیولوژی جانوری، گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

2. دانشیار، گروه علوم جانوری و زیست شناسی دریا، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

3. استاد، گروه زیست شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

4. دانشیار، گروه دامپزشکی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: 1401/3/25 تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: 1401/4/6 تاریخ تصویب: 1401/6/26

قندی هیدروفیل متصل به آگلیکون تری ترپنی یا استروئیدی ساخته شده است. ساپونین علاوه بر استفاده به عنوان سورفکتانت طبیعی، دارای چندین فعالیت دارویی همچون ایمنی‌زایی، ضد سرطانی و هیپوکلسترولمی (12)، محافظت ماهیچه‌های قلبی، مهار تجمع پلاکت‌ها، تقویت جریان خون در عروق کرونر، بهبود گردش خون محیطی و تسکین‌کننده‌ترین صدی می‌باشد (13). ساپونین یکی از ترکیباتی است که در کشورهای شرق آسیا برای درمان سکته مغزی و بهبود شرایط ناتوانی مزمن ناشی از آن بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرد (14). با این حال، تحقیقات کمی در مورد اثرات محافظتی عصبی ساپونین در برابر ایسکمی مغزی وجود دارد و آنچه که تاکنون انجام شده تزریق ساپونین استخراجی از گیاهان با درجه خلوص پایین در چند روز متوالی بوده است. بنابراین در طی این مطالعه اثر محافظت عصبی ساپونین خالص تهیه شده از شرکت سیگما در برابر آسیب ایسکمی مغزی با یک بار تزریق وریدی ارزیابی شده است. پارامترهایی مانند امتیاز نقص عصبی، میزان اثرات ضد اکسیداسیون و ضد ادم به‌طور سیستماتیک از طریق این پژوهش در مدل حیوانی انسداد شریان مغزی - میانی (MCAO/R) Middle Cerebral Artery Occlusion/ Reperfusion در موش صحرایی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه تجربی، ساپونین از شرکت سیگما آلدریج آمریکا، همچنین کلرال هیدرات، متانول، اتانول مطلق (>99/8 درصد)، DPPH (2,2-Diphenyl-1-Picrylhydrazyl)، از شرکت مرک آلمان خریداری شد. در طول مطالعه از آب مقطر استفاده شد. این مطالعه دارای کد اخلاق از کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران با شناسه اخلاق IR.IAU.SRB.REC1398.197 می‌باشد.

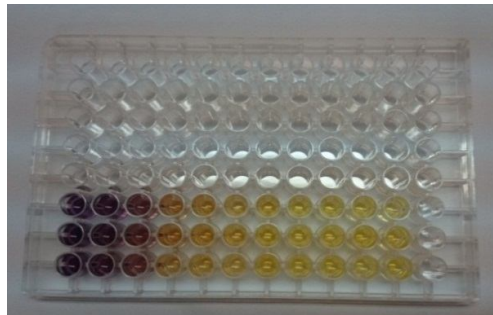
به‌طور کلاسیک اصطلاح "سکته مغزی" یک نقص عصبی است. سکته مغزی توسط یک عامل عروقی موجب آسیب حاد در CNS (Nervous System Central) شده و به‌دو نوع خونریزی مغزی و ایسکمی تقسیم‌بندی می‌شود (3) که بالای 80 درصد آن از نوع ایسکمی است (4). در طی سکته مغزی ایسکمی با قطع جریان خون یک ناحیه مغزی، بافت‌های اطراف از اکسیژن و گلوکز محروم می‌شوند و منجر به اختلال در سنتز ATP (Adenosine Triphosphate) شده (5) و با کاهش انرژی، در هومئوستاز و تعادل یون‌ها اختلال ایجاد می‌شود (6). این امر رادیکال‌های آزاد، سدیم و کلسیم داخل سلولی را افزایش داده و با افزایش کلسیم درون سلولی آبشار سیگنال‌های ثانویه توسط آنزیم‌هایی از جمله پروتئاز، لیپاز و کیناز فعال شده که منجر به اختلال در عملکرد اندامک‌ها (میتوکندری)، ادم نورونی و در نهایت سبب فعال شدن مسیرهای مرگ سلولی از جمله آپوپتوز، نکروز، اتوفاژ، نکروپتوزیس و فروپتوزیس می‌گردد (7). تاکنون همه راهکارهای درمانی سکته مغزی بر پایه ایجاد جریان خون مجدد با استفاده از ترومبولیز دارویی و مکانیکی استوار بوده است (8). عوامل مهار کننده رادیکال‌های آزاد می‌توانند در بهبود علائم بالینی ناشی از آسیب ایسکمی مغزی مفید باشند. زمانی که تعادل بین تولید رادیکال‌های آزاد و سیستم آنتی‌اکسیدانی در بدن، بر هم بخورد، استرس اکسیداتیو ایجاد می‌گردد (9). به‌تازگی گزارشات بیان کرده‌اند که کاهش رادیکال‌های آزاد برای جلوگیری از آسیب سکته مغزی می‌تواند به عنوان راهکار مورد استفاده قرار گیرد (10). طبق مطالعات گذشته، ساپونین به‌عنوان عامل ضد التهاب و مهار کننده رادیکال‌های آزاد شناخته شده است. ساپونین به‌عنوان یک ترکیب فعال سطحی، شامل یک بخش غیرقطبی آگلیکون همراه با مونو یا الیگوساکاریدهای قطبی می‌باشد که به‌طور گسترده در گیاهان یافت می‌شود (11). ساختار شیمیایی ساپونین‌ها شامل یک هسته هیدروفوبیک (ساپونین) است که توسط یک زنجیره

حدود 250 تا 350 گرم بود)، موش‌ها به‌طور تصادفی به 3 گروه اصلی تقسیم‌بندی شدند: گروه شم (موش‌های صحرایی که فقط استرس جراحی را دریافت کردند)، گروه سگته (ایجاد ایسکمی همراه با تزریق سالیان) و گروه سگته+ساپونین (ایجاد ایسکمی همراه با تزریق ساپونین). هر سه گروه اصلی به 2 زیر گروه جهت بررسی میزان ادم مغزی (5تایی) و بررسی سطح بیان ژن Bax (Bcl-2-associated X) (3تایی) تقسیم شدند. در این پژوهش موش‌های صحرایی گروه ساپونین نیم ساعت پیش از ایجاد ایسکمی (3 میلی‌گرم/کیلوگرم) ساپونین را به صورت تزریق وریدی از ورید دمی دریافت کردند (17).

ایجاد ایسکمی: برای ایجاد مدل سگته مغزی (MCAO)، موش‌های صحرایی بعد از توزین، با داروی بیهوشی، بیهوش شدند. جراحی مدل انسداد شریان مغزی - میانی در نیمکره راست مطابق دستورالعمل Longa و همکارانش انجام شد (18). به‌طور خلاصه طی جراحی میکروسکوپی، یک نخ بخیه نایلون 0-3 وارد شریان کاروتید خارجی (ECA) (External Carotid Artery) شد و تا رسیدن به شریان مغزی قدامی از طریق عبور از شریان کاروتید داخلی (ICA) (Internal Carotid Artery) و در حالی که رگ پتریگوبالاتین بسته بود پیش رفت. در اثر تماس نخ بخیه و شریان مغزی قدامی (Anterior Cerebral Artery) ACA جریان خون از هر طرف به سوی شریان مغزی - میانی (MCA) (Middle Cerebral Artery) در نیمکره راست مغز بسته شد. این بسته شدن از طریق احساس مقاومت در پیشروی نخ و ورود حدود 20 میلی‌متر طول نخ از تنه ECA مشخص شد. بعد از 60 دقیقه ایسکمی، برقراری مجدد جریان خون صورت گرفت (19).

ارزیابی نقص‌های نورولوژیکی: ارزیابی نمره نقص عصبی (Neurological Deficits) NDS بعد از گذشت 24 ساعت از القای ایسکمی توسط یک محقق که بیخبر از گروه‌بندی بود، انجام شد. ارزیابی

سنجش مهار رادیکال DPPH: فعالیت ساپونین در مهار رادیکال DPPH با اندازه‌گیری جذب UV (Ultraviolet) در طول موج 517 نانومتر تعیین شد. سنجش مهار رادیکال DPPH طبق روش نظری با تغییرات جزئی انجام شد (13). به‌طور خلاصه، هر نمونه (1 میلی‌لیتر) در غلظت‌های مختلف (0/1، 0/2، 0/3، 0/4، 0/5، 1، 2، 3 میلی‌گرم در میلی‌لیتر) از ساپونین به 1 میلی‌لیتر DPPH (2 میلی‌گرم در 1 لیتر متانول) اضافه شد. پس از 30 دقیقه انکوبه شدن، جذب نوری تعیین شد (تصویر شماره 1).



تصویر شماره 1: عکس از تغییر رنگ محسوس محلول DPPH در حضور ساپونین در غلظت‌های مشخص

توانایی مهار رادیکال‌های DPPH به شرح زیر محاسبه شد: $DPPH (\%) = [(A1 - A2)/A1] \times 100$ که در آن A1 میزان جذب کنترل است و A2 میزان جذب هر محلول با غلظت‌های متفاوت می‌باشد. ال-آسکوربیک اسید به عنوان آنتی‌اکسیدان استاندارد مورد استفاده قرار گرفت (15). نتایج به‌صورت IC50 (مقداری از آنتی‌اکسیدانت که لازم است تا غلظت DPPH به 50 درصد مقدار اولیه برسد) بیان گردید (16). حیوانات و گروه‌ها: 24 سر موش صحرایی نر بالغ نژاد ویستار به‌طور جداگانه به صورت پنج تایی در هر قفس نگهداری شدند. شرایط محیط با دمای 21-25 درجه سانتی‌گراد، رطوبت نسبی در حدود 50 و یک چرخه روشنایی/تاریکی 12 ساعته مهیا شد. پس از یک هفته سازگاری با شرایط نگهداری (زمانی که وزن بدن

بخش‌های مخچه، پل مغزی و پیازهای بویایی از مغز جدا شد، سپس بخش‌های کورتکس، کورتکس پری فرم - آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ جدا شد و 4 بخش در هر نیمکره مغز جداگانه توسط ترازو وزن شد و به این ترتیب وزن خالص هر بخش مغز موش صحرایی WW (Wet Weight) اندازه گیری شد. سپس وزن خشک هر بخش مغز DW (Dry Weight) پس از این که در اتوکلاو خشک یا آون (Shimaz، ایران) در دمای 120 درجه سانتی‌گراد به مدت 24 ساعت قرار گرفتند، اندازه گیری شد. در نهایت میزان آب میان بافتی مغز توسط فرمول $100 \times (WW - DW) / WW$ اندازه گیری شد (21).

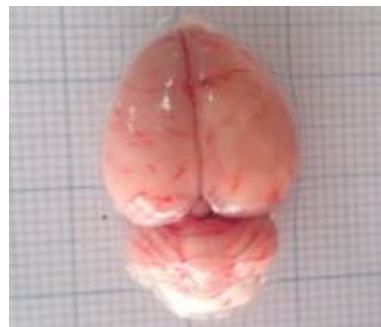
بررسی ژن: در این پژوهش تأثیر ساپونین بر بیان یکی از ژن‌های دخیل و آغازگر مسیر آپوپتوز (Bax) که افزایش دهنده مرگ برنامه‌ریزی شده سلول است، بررسی گردید. بسیاری از القاکننده‌های آپوپتوز، اکسیدانت‌ها یا متابولیسم‌های اکسیداتیو هستند (22) که در ایسکمی مغزی افزایش پیدا می‌کند. تمام نمونه‌های بافتی مغز موش‌های صحرایی پس از گذشت 24 ساعت از ایجاد ایسکمی به سرعت و با احتیاط از جمجمه خارج گردید و تا زمان استخراج RNA (Ribonucleic Acid) بلافاصله به دمای 80- درجه سانتی‌گراد منتقل شد.

جداسازی RNA و سنتز cDNA (complementary Deoxyribonucleic acid): با توجه به دفترچه راهنما، از محلول معرف ایزولاسیون Tripure ساخت شرکت روج (Cat No. 11667165001) برای استخراج RNA از نمونه‌های بافتی استفاده شد. برای تعیین کیفیت و کمیت RNA های استخراج شده، چگالی نوری OD (Optical Density) تمام نمونه‌ها با دستگاه نانودراپ (Termo) اندازه گیری شد. سپس (cDNA) از RNA توسط کیت سنتز cDNA تاکارا (TAKARA Cat No. 6130) طبق پروتکل سازنده سنتز گردید.

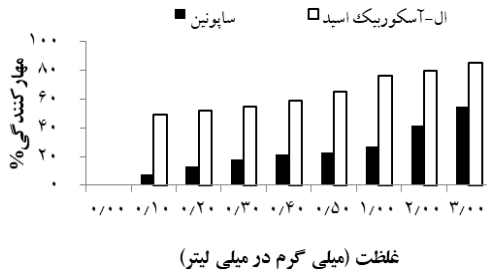
دقیق براساس معیارهای شدت آسیب عصبی mNSS (Modified Neurologic Severity Scores) از چهار جنبه حرکت، احساس، تعادل و رفلکس، انجام شد که به شرح زیر است: 0: بدون کمبود، 6-1: کمبود خفیف، 7-12: کمبود متوسط، 13-18: کمبود شدید. قوانین امتیازدهی در جدول شماره 1 نشان داده شده است (20).
بررسی آب میان بافتی مغز: پس از گذشت 24 ساعت از زمان ایجاد ایسکمی لایپروفیژن، موش‌های صحرایی مجدداً وزن شده و با تزریق داروی کلرال هیدرات (مرک آلمان) به میزان 800 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن موش صحرایی، کشته شدند. سپس سریعاً سر حیوان جدا و مغز از جمجمه با احتیاط خارج گردید (تصویر شماره 2).

جدول شماره 1: ارزیابی نقص‌های نورولوژیکی

| score | "ارزیابی های نورولوژیکی" |
|-------|--|
| 0 | توازن کردن رت از بد (RT) |
| 1 | چرخاندن سر بیش از 10 درجه نسبت به محور عمودی بدن در 30 ثانیه |
| 1 | جمع کردن اندام قدامی |
| 1 | جمع کردن اندام خلفی |
| 0 | عشکرده های حساس هدف یک مورد (SF) |
| 1 | از دست دادن پاسخ به محرک های لمسی و بصری |
| 2 | حس فشار/فشار پنجه پا به لبه مین |
| 0 | عشکرده های حرکتی هدف یک مورد (MF) |
| 0 | راه رفتن نرمال |
| 1 | عدم توانایی راه رفتن در خط مستقیم |
| 2 | حرکت چرخشی به یک طرف |
| 3 | الکتان به یک طرف |
| 0 | تست میله هدف یک مورد (BT) |
| 0 | حفظ تعادل پایدار |
| 1 | گرفتن لبه میله |
| 2 | گرفتن میله و رها کردن یک دست |
| 3 | گرفتن میله و رها کردن دو دست یا چرخش بیش از 60 ثانیه روی میله |
| 4 | سقوط از میله به رخم تکانی برای حفظ تعادل بیش از 40 ثانیه |
| 5 | سقوط از میله به رخم تکانی برای حفظ تعادل بیش از 20 ثانیه |
| 6 | سقوط از میله به پایین بدون هیچ تکانی برای حفظ تعادل کمتر از 20 ثانیه |
| 0 | رفلکس حرکتی (RA) |
| 1 | رفلکس فریب/هنگام لمس فریب با پنجه چشمک می زند |
| 1 | رفلکس تشنایی (تکان دادن سر هنگام تحریک گوش) |
| 1 | رفلکس جهیدن (پنج حرکتی و تریس از صداهای نگیانی) |
| 1 | Myoclonus, Myodystonia, seizures |
| 18 | حداکثر امتیازات |



تصویر شماره 2: مغز موش‌های صحرایی گروه سکنه. نیمکره راست ادم مغزی (نورم) محسوسی را نشان می‌دهد



نمودار شماره 1: فعالیت مهار رادیکال‌های DPPH ساپونین و کنترل مثبت (ال آسکوربیک اسید).

امتیازهای نقص نورولوژیک:

ارزیابی میانگین کل نقص نورولوژیکی موش‌های صحرایی گروه سگته+ساپونین در مقایسه با موش‌های صحرایی گروه سگته کاهش معنی‌داری را نشان داد ($P < 0/05$). که جزییات امتیازات به تخصیص هر گروه در جدول شماره 3 درج شده است.

جدول شماره 3: نتایج حاصل از ارزیابی نقص‌های نورولوژیک حاصل از ایسکمی

| گروه‌های آزمایشی | (1) گروه شم | (2) گروه سگ | (3) گروه سگ+ساپونین | معنی داری $P < 0/05$ |
|------------------|-------------|-------------|---------------------|--|
| میانگین RT | 127 | 245 | 227 | 2,1 ($P = 0/008$) |
| میانگین MF | 036 | 272 | 072 | 2,1 ($P = 0/003$) 2,3 ($P = 0/021$) |
| میانگین SF | 036 | 172 | 127 | 2,1 ($P = 0/000$) 2,3 ($P = 0/037$) |
| میانگین BT | 163 | 545 | 363 | 2,1 ($P = 0/000$) 2,3 ($P = 0/003$) |
| میانگین RA | 054 | 245 | 163 | 2,1 ($P = 0/000$) 2,3 ($P = 0/014$) |
| میانگین کل | 418 | 1345 | 954 | 2,1 ($P = 0/000$) 2,3 ($P = 0/000$) |

نتایج توسط نرم افزار SPSS آزمون کروسکال والیس ارزیابی شد. از لحاظ آماری $P < 0/05$ معنی‌دار در نظر گرفته شده است. (RT: آویزان کردن موش‌های صحرایی از دم، MF: عملکرد حرکتی، SF: عملکرد حسی، BT: تست میله، RA: رفلکس حرکتی)

میزان آب میان بافتی مغز: پیش تیمار با ساپونین (3mg/kg) باعث کاهش میزان ادم مغزی در بخش‌های کورتکس، کورتکس پری فرم - آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ نیمکره راست مغز موش‌های صحرایی متحمل MCAO گردید، که این کاهش در کورتکس پری فرم - آمیگدال مغز از لحاظ آماری در مقایسه با گروه

real time PCR کمی: تجزیه و تحلیل کمی توسط دستگاه ریل تایم PCR مدل Step One Plus (بیوسستم‌های کاربردی، شهر فوستر، CA، USA) انجام شد. برای کمی‌سازی نسبی سطح بیان Bax از نمونه‌های بافت کورتکس، کورتکس پری فرم - آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ از کیت پرایمرهای اختصاصی ژن و مستر میکس SYBR Green استفاده شد (TAKARA Cat No.RR820W). از سطح بیان ژن GAPDH (ژن رفرانس) به منظور نرمال سازی سطح بیان ژن‌های هدف به عنوان کنترل داخلی مورد استفاده قرار گرفت. پرایمرها با استفاده از نرم افزار Oligo 7 طراحی و صحت همه پرایمرها توسط وب سایت (National Center for Biotechnology) NCBI (Information) تایید شد (جدول شماره 2).

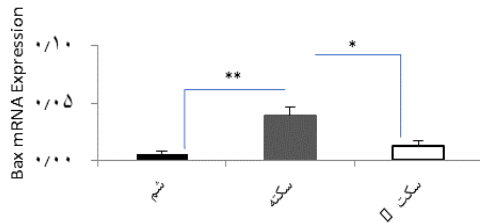
جدول شماره 2: توالی پرایمرها

| نام ژن | توالی پرایمر |
|---------|------------------------------|
| Bax-F | 5'-TGAAGACAGGGCCCTTTTG-3' |
| Bax-R | 5'-AATTCGCCGGAGACTCGT-3' |
| GAPDH-F | 5'-CAAGATCATCAGCAATGCCTCC-3' |
| GAPDH-R | 5'-GCCATCAGCCAGTTCC-3' |

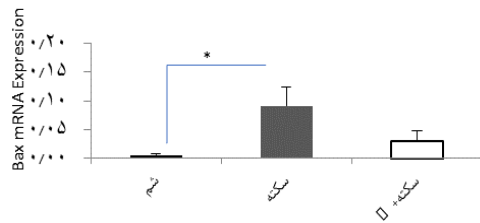
تحلیل آماری: همه مقادیر با میانگین و انحراف معیار (میانگین \pm SEM) بررسی شد و از نرم افزار تجزیه و تحلیل آماری SPSS 11 برای تجزیه و تحلیل داده‌ها استفاده شد. آزمون ANOVA یکطرفه، برای داده‌های ادم مغزی و بررسی سطح بیان ژن Bax و آزمون کروسکال والیس برای ارزیابی امتیازات نقص نورولوژیک مورد استفاده قرار گرفت. تفاوت‌های معنی‌داری P -value در مقادیر $P < 0/05$ با علامت اختصاری (***)، $P < 0/01$ با (***) و $P < 0/001$ با (*)، نشان داده شد.

یافته‌ها

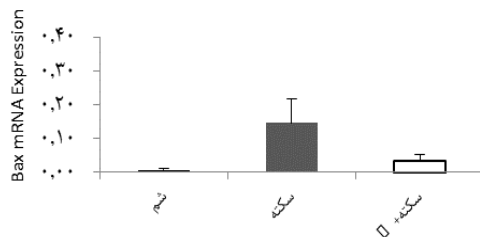
آزمون DPPH: میزان مهار رادیکال‌های آزاد در غلظت‌های معین ساپونین و ال آسکوربیک اسید در نمودار شماره 1 آورده شده است و با بررسی نتایج درصد مهار کنندگی میزان IC_{50} ساپونین $2/54$ و ال آسکوربیک اسید $0/381$ به دست آمده است.



نمودار شماره 4: آنالیز ژن Bax در بخش کورتکس پری فرم-آمیگدال مغز موش صحرایی



نمودار شماره 5: آنالیز ژن Bax در بخش استریاتوم مغز موش صحرایی



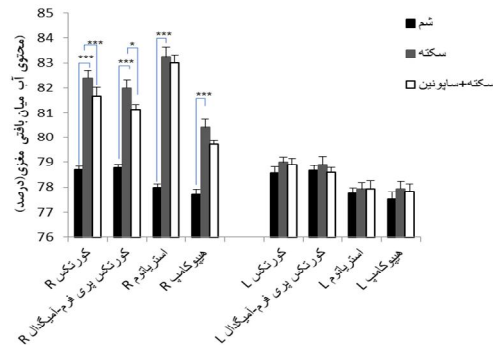
نمودار شماره 6: آنالیز ژن Bax در بخش هیپوکامپ مغز موش صحرایی
نتایج نمودارهای شماره های ۵، ۴، ۳ و ۶ توسط نرم افزار SPSS آزمون ANOVA یکطرفه انجام شده است.
از لحاظ آماری $P < 0/05$ معنی دار و با علامت اختصاری (*)،
 $P < 0/01$ معنی دار و با علامت اختصاری (**). نشان داده شده است

بحث

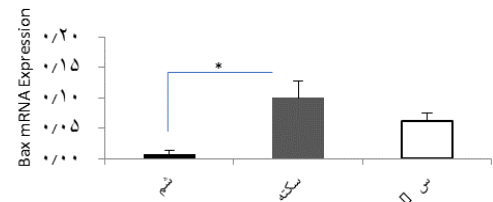
با توجه به نتایج به دست آمده، تزریق ساپونین به موش های صحرایی گروه سکنه+ساپونین در مقایسه با گروه سکنه کاهش قابل توجهی در میزان ادم مغزی در بخش های کورتکس و کورتکس پری فرم-آمیگدال به همراه داشت. هم چنین پیش تیمار با ساپونین میزان نقص های نورولوژیکی را کاهش داد. در این مطالعه با بررسی میزان بیان ژن Bax در بخش کورتکس

سکنه معنی دار بود و در نمودار شماره 2 نشان داده شده است ($P < 0/05$).

آنالیز سطح بیان ژن Bax: سطح بیان ژن Bax در بخش های کورتکس، کورتکس پری فرم-آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ نیمکره ایسکمی شده (راست) طبق پروتکل مذکور و توسط نرم افزار SPSS آزمون ANOVA یک طرفه آنالیز شد. نتایج در نمودارهای ۳، ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است. در تمامی بخش های مغز موش های صحرایی گروه سکنه+ساپونین که نیم ساعت پیش از ایسکمی ساپونین (3mg/kg) را دریافت کرده بودند، سطح بیان ژن Bax در مقایسه با گروه سکنه روند کاهشی داشت که در بخش کورتکس پری فرم-آمیگدال این کاهش به شکل معنی دار دیده شد.



نمودار شماره 2: درصد آب میان بافتی در بخش های کورتکس، کورتکس پری فرم-آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ نیمکره راست و چپ مغز در گروه های مورد مطالعه.
نتایج با استفاده از نرم افزار SPSS آزمون ANOVA یکطرفه انجام شده است.
از لحاظ آماری $P < 0/05$ معنی دار و با علامت اختصاری (*)،
 $P < 0/001$ معنی دار و با علامت اختصاری (****) در نظر گرفته شده است
(R: نیمکره راست، L: نیمکره چپ).



نمودار شماره 3: آنالیز ژن Bax در بخش کورتکس مغز موش صحرایی

پری فرم-آمیگدال مغز موش‌های صحرایی گروه سگته+ساپونین در مقایسه با گروه سگته کاهش معناداری دیده شد. مطالعات قبلی نشان داده است که سگته مغزی ایسکمیک ناشی از انسداد ناگهانی شریان اصلی مغز است. هنگامی که سگته مغزی ایسکمیک رخ می‌دهد، خون رسانی به مغز قطع می‌شود و سلول‌های مغزی قادر به دریافت اکسیژن یا مواد مغذی کافی برای عملکرد خود نیستند. بنابراین، سلول‌های مغزی در محل انسداد می‌میرند و مواد شیمیایی سمی آزاد می‌شود و به بافت‌های اطراف آسیب می‌رساند (23).

طبق مطالعات، مجموعه‌ای از مکانیسم‌ها در فرایند ایسکمیک مغزی - ریپرفیوژن دخیل هستند که برای مقابله با آن‌ها هیچ دارویی در دسترس نیست. بنابراین توسعه عوامل بالقوه با خاصیت حفاظت عصبی با حداقل عوارض جانبی ضروری است (24). در طول ایسکمیک مغزی، افزایش ناگهانی ROS (Reactive Oxygen Species)، باعث آسیب اکسیداتیو به لیپیدها، پروتئین‌ها و DNA (Deoxyribonucleic acid) می‌شود و سیستم‌های آنتی‌اکسیدان آندوژن به دلیل فعالیت کم آنزیم‌های ضد اکسیداتیو نمی‌توانند کنترل شوند (25). در نتیجه، مغز در معرض سطح بالای ROS قرار می‌گیرد که منجر به اختلال عملکرد مغزی و مرگ سلولی می‌شود. نتایج امیدوارکننده این مطالعه نشان می‌دهد که ساپونین می‌تواند از طریق مکانیسم استرس آنتی‌اکسیدان از مغز در برابر ایسکمیک مغزی محافظت کند. رادیکال‌های آزاد در گیر در فرآیند پراکسیداسیون لیپیدی نقش مهمی در آسیب‌زایی بسیاری از بیماری‌های مزمن از جمله سرطان و بیماری‌های قلبی عروقی دارند (26). از DPPH به عنوان یک مدل رادیکال چربی دوست پایدار استفاده می‌شود. در آزمون DPPH واکنش‌های زنجیره‌ای بین رادیکال‌های چربی دوست و اتوکسیداسیون لیپیدی آغاز می‌شود. آنتی‌اکسیدان‌ها با DPPH واکنش می‌دهند و رادیکال‌های آزاد DPPH که به گروه‌های هیدروکسیل وابسته هستند کاهش می‌یابد. فعالیت آنتی‌اکسیدان دارای مکانیسم‌های

مختلفی است از جمله جلوگیری از آغاز فعالیت واکنش‌های زنجیره‌ای، تجزیه پراکسیدها، مهار رادیکال‌های آزاد، کاهش ظرفیت و اتصال یون فلزات واسطه گر با کاتالیزورها (27). در آزمون DPPH این پژوهش میزان IC 50 برای ساپونین 2/542 به دست آمد. طبق مطالعات انجام شده ساپونین به علت پتانسیل احیا منفی یک از آنتی‌اکسیدان‌ها محسوب می‌شود و در گیاهان به منظور دفاع در برابر استرس‌های محیطی و نیز عوامل بیماری‌زا تولید شده و بر روی مسیر پیام‌رسانی التهاب اثر می‌گذارد (28). در راستای پژوهش حاضر Zhou و همکاران در سال 2014 با بررسی اثرات آنتی‌اکسیدان ساپونین‌های پاناکس نوتوجینسینگ در سلول‌های مغزی دریافتند که ساپونین دارای اثرات آنتی‌اکسیدان است و ممکن است در اختلالات عصبی نقش محافظت‌کننده عصبی داشته باشد (29).

Chu و همکاران در سال 2019 در مطالعه‌ای نشان داده‌اند که جین سنوزید Rgl1 توانسته فعالیت miR-144 را که موجب ایجاد مسیر سیگنالینگ Nrf2/ARE می‌شود را مهار کند و در نتیجه پاسخ آنتی‌اکسیدان را افزایش دهد (30). نتایج دیگر محققین تاییدی بر توانایی آنتی‌اکسیدان ساپونین دارد که می‌تواند آسیب‌های حاصل از ایسکمیک مغزی را کاهش دهد.

طبق نتایج ارزیابی نقص‌های نورولوژیکی حاصل از ایسکمیک کاهش معنی‌داری در گروه سگته+ساپونین در مقایسه با گروه سگته دیده شد، همچنین نتایج حاصل از بررسی میزان ادم مغزی در بخش‌های کورتکس، کورتکس پری فرم-آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ مغز موش‌های صحرایی گروه تحت درمان با تزریق ساپونین، سیر کاهشی داشت که در بخش کورتکس پری فرم-آمیگدال به صورت معنی‌دار بود و این نتایج با اندازه‌گیری میزان سطح بیان ژن Bax در بخش‌های مذکور در مغز موش‌های صحرایی نیز تأیید گردید. در همین راستا طبق نتایج پژوهشی، Christensen و همکاران دریافتند که ساپونین تری ترپنوئید جینسنوزید Rd نوع

dammarane، در برابر آسیب‌های سیستم قلبی عروقی، سیستم ایمنی و CNS اثر محافظتی بالایی دارد (31). همچنین Chen (32) و Lin (33) در دو پژوهش مجزا و همسو در مدل MCAO دائمی دریافتند که Rgl (یک فعال زیستی اصلی، ساپونین تری ترپنئیدی پاناکساتریول در *P. ginseng*)، میزان نقص نورولوژیکی موش‌های ایسکمیک را کاهش داده و هماهنگی حرکات مختل شده را بهبود می‌بخشد. هم‌چنین در پژوهشی مشابه Wang و همکاران دریافتند که GSTTF (Gross Saponins of Tribulus terrestris Fruit) می‌تواند تغییرات متابولیکی سرم ناشی از MCAO را با تنظیم مسیرهای متابولیکی متعدد از جمله متابولیسم اسیدهای چرب، متابولیسم اسیدهای آمینه و متابولیسم کربوهیدرات‌ها معکوس کند و نتایج آن‌ها حاکی از اثربخشی GSTTF در درمان سکته مغزی ایسکمیک بود. در پژوهش مذکور پس از درمان با GSTTF (3 میلی‌گرم / کیلوگرم) با تزریق به ورید دمی به مدت 3 روز، کاهش نقص عصبی مشاهده شده و سطوح بیومارکرها روند آشکاری را به سمت آن در گروه شم نشان داده است. آن‌ها دریافتند که GSTTF بر تغییرات متابولیکی سرم در موش‌های ایسکمیک ناشی از MCAO تأثیر گذاشته است (34). همسو بودن نتایج دیگر محققین تاییدی بر نتایج پژوهش حاضر است و می‌توان دریافت که ساپونین استفاده شده در این پژوهش با خلوص بالا و خاصیت آنتی‌اکسیدانی و ضد التهابی می‌تواند با یک بار تزریق پیش از القا ایسکمی، اثرات ناشی از ایسکمیک همچون میزان ادم مغزی و نقص‌های نورولوژیکی حاصل از ایسکمی را کاهش دهد.

در بسیاری از بیماری‌های وابسته به مغز به ویژه سکته مغزی، افزایش آپوپتوز محتمل است و از نشانه‌های بارز آن افزایش میزان Bax در نورون‌ها می‌باشد که به تشدید آپوپتوز و در نهایت، مرگ نورون‌ها منجر می‌شود (35). مرگ سلولی شامل آپوپتوز (Bax) و نکروز (TNF- α ; Tumor Necrosis Factor Alpha) است که

در اثر آسیب و مسمومیت بافت اتفاق می‌افتد. در یک بافت آسیب دیده، یک یا هر دو ژن Bax و TNF- α می‌تواند موجب تخریب سلول شود (36). پایداری غشاء میتوکندری یکی از وقایع مهم در فرآیند بقاء سلول در آپوپتوز می‌باشد. ژن Bax که در سیتوپلاسم سلول‌های طبیعی وجود دارد، بر روی غشا میتوکندری اثرات مخربی داشته و به هنگام تحریک آپوپتوز به میتوکندری منتقل می‌شود و آغازگر مسیر آپوپتوز است. طبق مطالعات به خوبی نشان داده شده است که پیشرفت آپوپتوز را می‌توان با بیان Bax، (یک ژن پیش آپوپتوز) تعیین کرد (37). در مطالعه ما بیان Bax به صورت میانگین در هر گروه سنجیده شد، بیان بیش‌تر ژن Bax در گروه سکنه در مطالعه حاضر با نتایج حاصل از مطالعات مشابه که بر روی بیان ژن‌های مذکور صورت گرفته است منطبق می‌باشد. بر اساس نتایج سطح بیان ژن Bax در گروه سکنه + ساپونین کاهش معنی‌داری داشته است. این کاهش به نقش ژن Bax ارتباط دارد (38). طبق نتایج پژوهش حاضر با اندازه‌گیری میزان سطح بیان ژن Bax در بخش‌های کورتکس، کورتکس پری-فرم-آمیگدال، استریاتوم و هیپوکامپ در مغز موش‌های صحرایی، سطح بیان ژن Bax در گروه تحت درمان با ساپونین در مقایسه با گروه سکنه به میزان قابل توجهی کاهش پیدا کرده است. پس تصور می‌شود که ساپونین تا حدی می‌تواند بیان این ژن را کنترل کند. بنابراین ساپونین پتانسیل خوبی برای پیشگیری از سکته مغزی ایسکمیک در کاربردهای بالینی دارد. هم‌راستا با این مطالعه در پژوهشی نشان داده شد که ساپونین پاناکس نوتوجینسنینگ (Panax Notoginseng; PNS) کاهش بیان Bcl-2 (B-cell lymphoma 2) و افزایش بیان Bax و کاسپاز-3 ناشی از H₂O₂ در سلول‌های استرومایی مغز استخوان را معکوس می‌کند از این رو، می‌تواند به طور بالقوه به عنوان یک عامل ضد آپوپتوز مورد استفاده قرار گیرد (39). در نتایج حاصل از پژوهش Wang و همکاران ثابت شده است که ساپونین‌ها از طریق فعال نمودن مسیر

بر اساس یافته‌های مطالعه حاضر، تزریق ساپونین به میزان 3 میلی‌گرم بر کیلوگرم وزن بدن موش‌های صحرایی 30 دقیقه پیش از ایسکمی با کاهش سطح بیان ژن Bax می‌تواند آسیب نورونی را در موش‌های صحرایی کاهش دهد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در مورد سایر ژن‌های مرتبط با این موضوع مطالعه جامع‌تری به عمل آید.

سپاسگزاری

این مقاله حاصل پایان‌نامه خانم المیرا شیرینی دانشجوی رشته فیزیولوژی جانوری مقطع دکتری می‌باشد و با دریافت شناسه اخلاق IR.IAU.SRB.REC1398.197 از کمیته اخلاق دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران انجام گردید.

References

- Strong K, Mathers C, Bonita R. Preventing stroke: saving lives around the world. *Lancet Neurol* 2007; 6(2): 182-187.
- Feigin VL, Nguyen G, Cercy K, Johnson CO, Alam T, Parmar PG, et al. Global, Regional, and Country-Specific Lifetime Risks of Stroke, 1990 and 2016. *N Engl J Med* 2018; 379(25): 2429-2437.
- Arsava EM, Helenius J, Avery R, Sorgun MH, Kim GM, Pontes-Neto OM, et al. Assessment of the Predictive Validity of Etiologic Stroke Classification. *JAMA Neurol* 2017; 74(4): 419-426.
- Kunz A, Iadecola C. Cerebral vascular dysregulation in the ischemic brain. *Handb Clin Neurol* 2008;92:283-305.
- Li D, Wang C, Yao Y, Chen L, Liu G, Zhang R, et al. mTORC1 pathway disruption ameliorates brain inflammation following stroke via a shift in microglia phenotype from M1 type to M2 type. *Faseb J* 2016; 30(10): 3388-3399.
- Li MH, Leng TD, Feng XC, Yang T, Simon RP, Xiong ZG. Modulation of Acid-sensing Ion Channel 1a by Intracellular pH and Its Role in Ischemic Stroke. *J Biol Chem* 2016; 291(35): 18370-18383.
- García-Pupo L, Van San E, Delgado-Hernández R, Vanden Berghe T, Vanden Berghe W. Emerging immune and cell death mechanisms in stroke: Saponins as therapeutic candidates. *Brain Behav Immun Health* 2020; 9: 100152.
- Muir KW, Ford GA, Messow CM, Ford I, Murray A, Clifton A, et al. Endovascular therapy for acute ischaemic stroke: the Pragmatic Ischaemic Stroke Thrombectomy Evaluation (PISTE) randomised, controlled trial. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2017; 88(1): 38-44.

9. Fu YQ, Hua C, Zhou J, Cheng BR, Zhang J. Protective effects of ginseng total saponins against hepatic ischemia/reperfusion injury in experimental obstructive jaundice rats. *Pharm Biol* 2013; 51(12): 1545-1551.
10. Seo MY, Lee SM. Protective effect of low dose of ascorbic acid on hepatobiliary function in hepatic ischemia/reperfusion in rats. *J Hepatol* 2002; 36(1): 72-77.
11. Oleszek WA. Chromatographic determination of plant saponins. *Journal of Chromatography A* 2002; 967(1): 147-162.
12. Kregiel D, Berlowska J, Witonska I, Antolak H, Proestos C, Babic M, et al. Saponin-Based, Biological-Active Surfactants from Plants. *Application and Characterization of Surfactants* 2017; 6(1): 184-205.
13. Xiaoqun Z. Effects of Dioscin in Protection of Myocardial Ischemic Reperfusion Injury in Wistar Rats. *Chinese journal of Clinical Medicine* 2006.
14. Liu CX, Xiao PG. Recent advances on ginseng research in China. *J Ethnopharmacol* 1992; 36(1): 27-38.
15. Chen Y, Miao Y, Huang L, Li J, Sun H, Zhao Y, et al. Antioxidant activities of saponins extracted from *Radix Trichosanthis*: an in vivo and in vitro evaluation. *BMC Complement Altern Med* 2014; 14: 86.
16. Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT-Food Science and Technology* 1995; 28(1): 25-30.
17. Wang Y, Guo W, Liu Y, Wang J, Fan M, Zhao H, et al. Investigating the Protective Effect of Gross Saponins of *Tribulus terrestris* Fruit against Ischemic Stroke in Rat Using Metabolomics and Network Pharmacology. *Metabolites* 2019; 9(10): 240.
18. Longa EZ, Weinstein PR, Carlson S, Cummins R. Reversible middle cerebral artery occlusion without craniectomy in rats. *Stroke* 1989; 20(1): 84-91.
19. shiri E, Rahnama M, Bigdeli MR. The effect of pumpkin seed oil (*Cucurbita Moschata*) on the permeability of the blood-brain barrier and on brain edema in stroke animal model. *JNKUMS* 2016; 8(2): 301-311.
20. Long J, Cai L, Li J, Zhang L, Yang H, Wang T. JNK3 involvement in nerve cell apoptosis and neurofunctional recovery after traumatic brain injury. *Neural Regen Res* 2013; 8(16): 1491-1499.
21. Bigdeli MR, Hajizadeh S, Froozandeh M, Rasulian B, Heidarianpour A, Khoshbaten A. Prolonged and intermittent normobaric hyperoxia induce different degrees of ischemic tolerance in rat brain tissue. *Brain Res* 2007; 1152: 228-233.
22. Haddad JJ. Redox and oxidant-mediated regulation of apoptosis signaling pathways: immuno-pharmaco-redox conception of oxidative siege versus cell death commitment. *Int Immunopharmacol* 2004; 4(4): 475-493.
23. van der Worp HB, van Gijn J. Clinical practice. Acute ischemic stroke. *N Engl J Med* 2007; 357(6): 572-579.
24. Wang J, Xing H, Wan L, Jiang X, Wang C, Wu Y. Treatment targets for M2 microglia polarization in ischemic stroke. *Biomed Pharmacother* 2018; 105: 518-525.
25. Thiyagarajan M, Sharma SS. Neuroprotective effect of curcumin in middle cerebral artery occlusion induced focal cerebral ischemia in rats. *Life Sci* 2004; 74(8): 969-985.
26. Dorman HJD, Koşar M, Kahlos K, Holm Y, Hiltunen R. Antioxidant properties and composition of aqueous extracts from *Mentha*

- species, hybrids, varieties, and cultivars. *J Agric Food Chem* 2003; 51(16): 4563-4569.
27. Mao L-C, Pan X, Que F, Fang X-H. Antioxidant properties of water and ethanol extracts from hot air-dried and freeze-dried daylily flowers. *European Food Research and Technology* 2006; 222(3): 236-241.
28. Rodrigues HG, Diniz YS, Faine LA, Galhardi CM, Burneiko RC, Almeida JA, et al. Antioxidant effect of saponin: potential action of a soybean flavonoid on glucose tolerance and risk factors for atherosclerosis. *Int J Food Sci Nutr* 2005; 56(2): 79-85.
29. Zhou N, Tang Y, Keep RF, Ma X, Xiang J. Antioxidative effects of Panax notoginseng saponins in brain cells. *Phytomedicine* 2014; 21(10): 1189-1195.
30. Chu S-F, Zhang Z, Zhou X, He W-B, Chen C, Luo P, et al. Ginsenoside Rg1 protects against ischemic/reperfusion-induced neuronal injury through miR-144/Nrf2/ARE pathway. *Acta Pharmacol Sin* 2019; 40(1): 13-25.
31. Christensen LP. Ginsenosides chemistry, biosynthesis, analysis, and potential health effects. *Adv Food Nutr Res* 2009;55:1-99.
32. Chen J, Zhang X, Liu X, Zhang C, Shang W, Xue J, et al. Ginsenoside Rg1 promotes cerebral angiogenesis via the PI3K/Akt/mTOR signaling pathway in ischemic mice. *Eur J Pharmacol* 2019;856:172418.
33. Lin M, Sun W, Gong W, Ding Y, Zhuang Y, Hou Q. Ginsenoside Rg1 protects against transient focal cerebral ischemic injury and suppresses its systemic metabolic changes in cerebral injury rats. *Acta Pharm Sin B* 2015; 5(3): 277-284.
34. Wang Y, Zhao H, Liu Y, Guo W, Bao Y, Zhang M, et al. GC-MS-Based Metabolomics to Reveal the Protective Effect of Gross Saponins of Tribulus terrestris Fruit against Ischemic Stroke in Rat. *Molecules* 2019; 24(4): 793.
35. Hall JE, Hall ME, Hall J. Guyton and Hall textbook of medical physiology. Fourteenth edition. ed. 14th Edition Philadelphia, PA: Elsevier; 2021. 1152.
36. Bai XZ, He T, Gao JX, Liu Y, Liu JQ, Han SC, et al. Melatonin prevents acute kidney injury in severely burned rats via the activation of SIRT1. *Sci Rep* 2016; 6: 32199.
37. Cheng G, Wei L, Zhi-Dan S, Shi-Guang Z, Xiang-Zhen L. Atorvastatin ameliorates cerebral vasospasm and early brain injury after subarachnoid hemorrhage and inhibits caspase-dependent apoptosis pathway. *BMC Neurosci* 2009; 10: 7.
38. Endo H, Kamada H, Nito C, Nishi T, Chan PH. Mitochondrial translocation of p53 mediates release of cytochrome c and hippocampal CA1 neuronal death after transient global cerebral ischemia in rats. *J Neurosci* 2006; 26(30): 7974-7983.
39. Qiang H, Zhang C, Shi ZB, Yang HQ, Wang KZ. Protective effects and mechanism of Panax Notoginseng saponins on oxidative stress-induced damage and apoptosis of rabbit bone marrow stromal cells. *Chin J Integr Med* 2010; 16(6): 525-530.
40. Wang SS, Ji YS, Li H, Yang SJ. [Mechanisms of gross saponins of Tribulus terrestris via activating PKCepsilon against myocardial apoptosis induced by oxidative stress]. *Yao Xue Xue Bao* 2009; 44(2): 134-139.