

GİRİŞ

Nörobilimlerdeki bilgiler arttıkça, pek çok nörotransmitter ve reseptör mekanizmaları antikonvülsan ajanlar için muhtemel hedefler olarak tanımlanmıştır.

Pregabalin, santral nöral ağ içinde epilepsi, anksiyete, nöropatik ağrı gibi durumlarda aktivite gösteren, yeni tanımlanmış etki mekanizması olan bir bileşiktir.⁽¹⁾

Pregabalin pek çok ülkede periferik nöropatik ağrı durumlarında ve parsiyel başlangıçlı epilepsisi olan yetişkinlerde ek tedavi olarak ve aynı zamanda Avrupa ülkelerinde santral nöropatik ağrı ve yaygın anksiyete bozukluğunda endikedir.^(2, 3)

Pregabalin δ -aminobutirik asidin (GABA) yapısal bir analogudur (Şekil 1).⁽⁴⁾ Hayvan modellerinde antikonvülsan, analjezik ve anksiyolitik etki gösteren “voltaja duyarlı kalsiyum kanallarının” (VGCC), “alfa-2-delta” alt üniteleri için yüksek potentli bir ligandır.⁽⁵⁾ Hipereksite nöronların kalsiyum kanallarının alfa-2-delta alt ünitesine güçlü şekilde bağlandıktan sonra, depolarizasyonla indüklenmiş kalsiyum akışını ve bu şekilde glutamat, noradrenalin ve *substans P*'yi de içerecek şekilde pek çok eksitatuvar nörotransmitterlerin salımını azaltır.⁽¹⁾

Bu makalede antikonvülsan, analjezik ve anksiyolitik olarak pregabalinin hayvan modellerindeki prelinik verileri incelenecek ve aynı zamanda kimyasal ve farmakokinetik özellikleri ve etki mekanizması da gözden geçirilecektir.

KİMYASAL ÖZELLİKLER

3-isobutil δ -aminobutirik asidin (GABA) S-(+)- izomeri olan pregabalin (Şekil 1), kimyasal olarak S-(+)-3-(aminometil)-5-metilheksanoik asit olarak tanımlanmaktadır. Moleküler formülü $C_8H_{17}NO_2$ 'dir ve moleküler ağırlığı 159.23'tür.⁽⁶⁾

Pregabalin beyaz ve kirli beyaz arası renkte, pK_{a1} 'i 4.2 ve pK_{a2} 'si 10.6 olan kristal bir soliddir. Serbestçe suda ve hem bazik hem de asidik sulu solüsyonlarda eriyebilir. PH 7.4'te ayrılma katsayısı (n-oktanol/0.05M fosfat tamponu) logaritması – 1.35'tir.⁽⁷⁾

3-aminometil-5-metilheksanoik asidin S- ve R- enantiomerleri mevcuttur; değerlendirilen çeşitli hayvan modellerinin bazılarında R- enantiomeri S-enantiomerinden (S-3-isobutilgaba veya pregabalin) en az 10 kat daha zayıftır ya da hiç aktif değildir.⁽²⁾ Field ve arkadaşları R-enantiomerinin (R-isobutilgaba) yükseltilmiş artı labirent sıçan testi ve zıtlama testi gibi sıçan anksiyete test modellerinde yaklaşık 10 kat daha zayıf olduğunu göstermişlerdir.⁽⁸⁾ Pregabalin (S-isobutilgaba) insan neokortikal sinaptozomlarında konsantrasyona bağlı K^+ ile indüklenen Ca^{2+} girişinde azalmaya neden olmasına rağmen, R-enantiomeri inaktif olarak bulunmuştur.⁽⁹⁾ R-enantiomerinin inaktivitesi ayrıca nöropatik ağrı hayvan modellerinde de gözlenmiştir.^(10, 11)

Daha sonra tartışılacağı gibi, pregabalinin voltaja duyarlı kalsiyum kanallarının (VGCC) alfa-2-delta alt ünitesine ve de “L taşıyıcı sistemi” olarak adlandırılan geniş nötral aminoasit taşıyıcısına bağlanması, bileşiğin farmakolojik aktivitesi için önemlidir. Son yapı-aktivite-ilişki (YAI) çalışmaları, yan-zincir elemanlarının stereokimyasal oryantasyonlarının, her iki proteindeki etkileşimleri için önemini saptamıştır: Şekil 2'de

görüldüğü gibi, "2" olarak belirtilen karbondaki basit alkil gruplarını kullanarak yan zinciri arttırmak afiniteyi artırırken, "1" olarak gösterilen bağın stereokimyasal oryantasyonunu değiştirmek alfa-2-delta proteinine bağlanma afinitesini azaltmaktadır. "3" olarak belirtilen karbona da alkil grubu eklemek L nötral aminoasit taşıyıcı proteinine afiniteyi durdurmaktadır.⁽¹²⁾

PREKLİNİK FARMAKOKİNETİK VERİLER

Pregabalin oral uygulama sonrası, geniş nötral aminoasit (LNAA: large neutral aminoacids) taşıyıcısı aracılığıyla barsaklardan absorbe edilir.⁽¹³⁾

Pregabalin sıçanlarda yüksek oral biyoyararlanıma (%83) sahiptir; önemli oranda metabolize olmamakta, maksimum etkisini 2-4 saatte göstermektedir.⁽¹⁴⁾ Pregabalin diğer hayvanlarda da (fare, tavşan ve maymunlar) yüksek oral biyoyararlanım ve metabolize olmayışıyla benzer farmakokinetik profil göstermiştir.⁽⁴⁾

Şekil 3'te gösterildiği gibi, pregabalinin sıçanlara oral uygulamasından sonra maksimum plazma ilaç konsantrasyonu, artan dozlarla lineer bir tarzda yükselmiştir.⁽¹⁵⁾ Sıçanda pregabalin farmakokinetiği doza bağımlı olarak gözlenmiştir.⁽¹⁶⁾ Prelinik çalışmalarda, pregabalin (S-enantiomer) fareler, sıçanlar, tavşanlar ve maymunlarda R-enantiomere rasemizasyona uğramadığı saptanmıştır.⁽⁷⁾

Pregabalin plazma proteinlerine bağlanmaz. Pregabalin hem kan-beyin bariyeri^(17,18) hem de barsakta geniş aminoasitlerin transportundan sorumlu L taşıyıcı sisteminin bir substratıdır.⁽¹³⁾ Farelerde, sıçanlarda ve maymun modellerinde kan-beyin bariyerini geçtiği gösterilmiştir.^(17,18) Ek olarak, pregabalinin sıçanlardaki plasentayı geçtiği ve süt veren sıçanlarda sütte bulunduğu,⁽⁷⁾ hamile sıçanlarda [¹⁴C] pregabalinin vücut dağılımında değişiklik olmadığı gösterilmiştir.^(17,18)

Pregabalin, klinik araştırmalarda sağlanandan 10 kat daha fazla olan konsantrasyonlarda sitokrom P450 izoenzimlerinin aktivitesine anlamlı hiçbir in vitro etki göstermemiştir.^(6,17,19)

Pregabalin ihmal edilebilir metabolizmaya uğradığından ve plazma proteinlerine bağlanmadığından, farmakokinetiğinin diğer ajanlar tarafından metabolik etkileşimler vasıtasıyla ya da proteine bağlanmadaki yerin değişmesi yoluyla etkilenmesi beklenmez. In vitro ve in vivo çalışmalar anlamlı farmakokinetik ilaç etkileşimlerinin olmadığını göstermiştir.^(17,19)

FARMAKODİNAMİK VERİLER

1. Antikonvülsan olarak pregabalin

Pregabalin, maksimal elektroşok (MES) tarafından indüklenen nöbetlerde, kimyasal konvülsanların indüklediği nöbetlerde (Pentilenetetrazol [PTZ], bikukulin, pikrotoksin ve sitrikinin), sıçanlarda kindling nöbetleri ve genetik olarak duyarlı hayvanlardaki nöbetler dahil olmak üzere pek çok hayvan modelinde antikonvülsan aktivite göstermektedir.^(4,19) Tablo 1, farklı deneysel hayvan modellerinde pregabalinin antikonvülsan profilini özetlemektedir. Fare MES deneylerinde, hem oral hem de parenteral uygulamalarda pregabalin gabapentinden daha potent olarak gözlenmiştir

(oral: gabapentin ED₅₀=210 mg/kg; pregabalin ED₅₀=17 mg/kg; i.v.: gabapentin ED₅₀=87 mg/kg; pregabalin ED₅₀=20 mg/kg).⁽⁴⁾ Bu epilepsi modellerinin her birinde, pregabalinin aktif dozları gabapentinden 3-10 kat daha az bulunmuştur.⁽¹⁹⁾

1.a Elektroşokun indüklediği nöbetlerde:

Pregabalin farelerde (maksimum stimulusla, ED₅₀, 20 mg:kg, p.o.; düşük-yoğunluklu stimulusla, ED₅₀, 1.4 mg:kg, i.v.) ve sıçanlarda (ED₅₀, 1.8 mg:kg, p.o.) elektroşokun indüklediği tonik ekstansör nöbetleri önlemiştir. i.v. ve p.o. uygulamada sağlanan ED₅₀ değerlerinin benzer oldukları gözlenmiştir. Pregabalin yüksek dozlar dışında ataksiye neden olmamıştır (TD₅₀, 60-260 mg:kg, p.o.).⁽²⁰⁾

1.b Kimyasal konvülsanların indüklediği nöbetlerde:

Pregabalin farelerde PTZ ile indüklenen (ED₅₀, 100 mg:kg, p.o.; i.p.) eşik klonik nöbetlerini önlemiştir. Farelerde, bikukulin ya da pikrotoksinle indüklenen eşik nöbetlerini kısmen bloke etmiştir (maksimum %70 koruma, 250 mg/kg, i.p.) ve neokortikal EEG'deki deşarjlar 10, 40 ya da 100 mg/kg pregabalin ile değişmemiş, ama 200 ya da 400 mg/kg i.p. ile hafifçe artmıştır.^(4,19)

1.c Genetik olarak duyarlı hayvanlardaki nöbetlerde:

Pregabalin 3 ve 10 mg/kg p.o. dozlar sonrasında DBA/2 odiyojenik olarak nöbete yatkın farelerde nöbetleri azaltmıştır.^(4,19)

Pregabalin, Strasbourg kaynaklı genetik absans epilepsili sıçanlarda (GAERS) spontan absans nöbetlerinin insidansını değiştirmemiştir.^(15,21) Bu nedenle insanlardaki primer jeneralize absans nöbetlerinde pregabalinle etkinlik beklenemeyeceği belirtilmiştir.⁽¹⁵⁾

2. Analjezik olarak pregabalin

Pregabalinin, sinir ligasyonu, enjekte edilmiş immün antijen, herpes enfeksiyonu, artrit, diabet, cerrahi ve termal hasarla indüklenen ağrı dahil nöropatik ve inflamatuvar ağrısı olan hayvan modellerindeki nosiseptif davranışları azalttığı gösterilmiştir. Ancak, duyuşal olarak akut nosisepsiyonu etkilememiştir.⁽⁶⁾ Tablo 2, pregabalinin nöropatik ve inflamatuvar ağrısı olan farklı hayvan modellerindeki nosiseptif davranışlara olan etkisini özetlemektedir. Pregabalinin antiallodinik ve antihiperalezik etkisi gabapentinden 2 ila 4 kat daha düşük dozda gözlenmiştir.^(22,23)

2.a Antinosiseptif aktivite:

Formalin enjekte edilen fareler kullanılan bir çalışmada s.c., i.c.v. ve intratekal enjeksiyonlar için pregabalinin supraspinal ve spinal seviyelerde güçlü antinosiseptif aktivitesi olduğu gösterilmiştir; pregabalin formalinden 30 ve 5 dakika önce uygulanmıştır. Pregabalinin i.c.v. ve s.c. enjeksiyonunu takiben, zarar verici davranışlara (örneğin kıvrınma, yalanma, vücut kasılmaları, gerinme) karşı maksimum aktivite sırası ile 0.8 mg/kg (%99 azalma) ve 200 mg/kg (%70.8 azalma) dozlarında tespit edilmiştir. Pregabalinin 300 mg/sıçan intratekal enjeksiyonu sadece parsiyel aktivite oluşturmuştur (%60.4).⁽²⁴⁾

Deneysel veriler aynı zamanda pregabalinin inflamasyonun (örn. fareler ve sıçanlarda formalin, zimosan ve karragenanın indüklediği termal ve mekanik hiperalezi) eşlik ettiği ağrıyı da bloke edebileceğini göstermektedir.^(6,23) Pregabalin

inflamatuvar ağrılı durumlarda nöropeptidlerin salımını suprese ederek duyuşal nöronlarda analjezi oluştuabilir (örn. substans P, kalsitonin geniyle ilişkili peptid).⁽⁶⁾

Sıçanlarda lipopolisakkaridle indüklenmiş rektal hipersensitivite ağrı modelinde, pregabalinin tek intraperitoneal (10 ve 30 mg/kg) ve oral (1, 3, 10 ve 30 mg/kg) dozları doza bağımlı şekilde rektal distansiyonla indüklenmiş allodiniyi suprese etmiştir. Bu modelde opioid antagonisti naloksonun ve GABA_A antagonisti bikukulinin pregabalinin etkisi üzerine etkisi görülmemiştir.⁽²⁵⁾

2.b Nöropatik ağrı:

Vinkristin, streptozosin ve sinir hasarının indüklediği mekanik allodini; formalin, karragenan, substans P, NMDA ve termal hasarın indüklediği hiperalezi ve cerrahinin indüklediği mekanik allodininin de içinde yer aldığı çeşitli nöropatik ağrı kemirgen modellerinde antiallodinik ve antihiperalezik aktiviteler gösterilmiştir.⁽²²⁾

Sıçanlardaki vinkristinin indüklediği nöropatik ağrı modelinde, pregabalin 80 mg/kg'ın tek bir intraperitoneal dozu plaseboyla karşılaştırıldığında ($P < 0.001$), uygulamadan 45 dakika sonra ulaşılan ve doz verildikten 90 dakika sonrasına (deneyin sonu) kadar devam eden zirve etkisi ile allodiniyi anlamlı şekilde suprese etmiştir.⁽²⁶⁾

Bir çalışmada sol pelvik siniri ligate edilmiş sıçanlar, cerrahiden sonra 7., 14. ve 21. günlerde kolon distansiyonuna maruz bırakılmışlar; hayvanlar kolonik distansiyondan 1 saat önce pregabalin (100 mg/kg p.o.) ya da naproksenle (0.1 mg/kg p.o.) tedavi edilmişlerdir. Pregabalin, ligasyon yapılmış hayvanlarda anlamlı şekilde allodiniyi azaltırken (39.2 ± 2.9 'a karşı 31.1 ± 3.3), kontrol grupta etkisi olmamıştır (43.3 ± 5.8 'e karşı 43.5 ± 2.6). Naproksen ligate edilmiş ya da kontrol hayvanlarında kolonik distansiyonla indüklenmiş ağrı eşiğini değiştirmemiş, bu şekilde kronik viseral ağrının inflamasyona bağlı olmadığı gösterilmiştir.^(24,27)

Sıçanlarda iskemiyle indüklenmiş siyatik sinir nöropatik ağrı modeli kullanılarak pek çok çalışma yapılmıştır.^(6,28,29) Bu modelde, etkilenen arka bacakta taktil allodini ve termal hiperalezi gösterilmiştir. Bir çalışmada, pregabalin (i.v. 5-50 mg/kg ve intratekal 3.8-60 μ g arasında değişen dozlarda) fotokimyasal yolla indüklenen iskemik sinir lezyonunda doza bağımlı biçimde taktil allodiniyi suprese etmiştir.⁽⁶⁾ Allodiniyi spinal kord stimülasyonuna yanıtız olan sıçanlardaki ayrı bir araştırmada, pregabalinin spinal kord stimülasyonuna eklenen tedavi edici düzeyin altındaki intravenöz ve intratekal dozlarının uygulaması (şimdi bahsedilenden daha düşük dozlarda) allodinide azalmalara neden olmuştur. Bu sonuçlarla nöropatik ağrının tedavi edilmesinin zor olduğu hastalarda pregabalinin spinal kord stimülasyonunun etkisini arttırabileceği ileri sürülmüştür.^(6,28) Siyatik sinirin kısmi ligasyonunun iskemi oluşturduğu başka bir çalışmada i.v. 10-30 mg/kg pregabalinin doza bağımlı olarak taktil allodini ve termal hiperaleziyi azalttığı bulunmuş; aynı zamanda doza bağımlı olarak hasarlı afferent sinir liflerinden ektopik deşarjları inhibe ettiği gösterilmiştir. Pregabalinin sinir iletim hızında ya da normal afferent sinir liflerinin mekanik stimülasyona yanıtı üzerine hiçbir etkisi olmadığı not edilmiştir.⁽²⁹⁾

Diabetik sıçan nöropatik ağrı modelinde, mekanik allodininin statik ve dinamik komponentleri için doz ihtiyacı farklılık gösterse de (statik allodini için minimum etkili doz [MED] ≤ 3 mg/kg, dinamik allodini için 10 mg/kg), 3-30 mg/kg p.o. pregabalin mekanik allodininin her iki bileşenini de bloke etmiştir.⁽¹¹⁾ Hem iskeminin indüklediği

siyatik sinir hem de Cheung modellerini (sıçanlarda L5/L6 spinal sinirlerinin sıkı ligasyonu) kullanan diğer ek çalışmada, oral pregabalin yine mekanik allodininin hem statik (sırası ile MED 3 ve 10 mg/kg) hem de dinamik (MED \leq 3 ve 10 mg/kg) bileşenlerini bloke etmiştir.⁽³⁰⁾

Pregabalinin antihiperalezik aktiviteleri postoperatif ağrı modellerinde gözlenmiştir (örn. plantar kas ya da topuk yaralanmasından sonra taktıl allodini ve termal hiperalezi).^(10,31,32)

3. Anksiyolitik olarak pregabalin

Pregabalinin potansiyel anksiyolitik etkilerinin öncü kanıtları, yükseltilmiş artı labirent sıçan testi ve zıtlaşma testi gibi anksiyete test modelleri kullanan çalışmalardan sağlanmıştır. Bu prelinik çalışmalar pregabalinin iki modelde de doza bağımlı olarak anksiyolitiğe benzer etkileri indüklediğini göstermiştir. Pregabalin hem zıtlaşma testinde (MED=3 mg/kg) hem de yükseltilmiş artı labirent testinde (MED 10 mg/kg) anksiyolitik benzeri etkileri indüklemiştir.⁽⁸⁾

Vogel Çelişki Anksiyete Modelini kullanan diğer çalışmalar da pregabalinin anksiyete tedavisinde etkili bir ajan olabileceği hipotezini desteklemektedir. Bu modelde, sıçanlar ilk olarak su şişesinden su içmek için eğitilirler. Bunu takiben, sıçanlar bir süre sudan yoksun bırakılırlar ve ne zaman tekrar su verilse onları içmeden vazgeçiren bir şişe vasıtasıyla hafif ve aralıklı elektrik şoku alırlar. Pregabalinle 3-100 mg/kg ön tedavi, içmede doza bağımlı artış oluşturmuştur.⁽¹⁾

4. Diğer farmakodinamik etkiler

Pregabalinin uykuya etkisi olduğu gözlenmiştir. Hayvan modellerinde, karanlık ya da aydınlık uygulamasından sonra hızlı olmayan göz hareketi (NREM) uyku süresinde artış ve hızlı göz hareketi (REM) uykusunda azalma göstermiştir. Triazolam tedavisi REM olmayan uyku süresini uzatırken aynı test şartlarında REM uykusu süresine etkisi görülmemiştir. Her iki ajan da devamlı olarak uyku başlangıcındaki gecikmeyi değiştirmemiştir. Pregabalin NREM epizodlarının sayısını da arttırmıştır. Elektroensefalografik (EEG) veriler iki ajan arasında belirgin farklılık göstermiştir. Bu sonuçlarla pregabalinin potansiyel olarak uykuyu modüle edici özelliği olduğu öne sürülmüştür.⁽³³⁾

ETKİ MEKANİZMASI

Pregabalin güçlü bir şekilde VGCC'lerine bağlanarak kalsiyum girişini ve bu şekilde eksitatuvar nörotransmitterlerin salımını azaltır.⁽²⁾ Bu bölümde pregabalinin etki mekanizması, VGCC'ler, alfa-2-delta alt ünitesi ve diğer antiepileptiklerden farkları ile ilgili olarak detaylı şekilde incelenecektir.

1. Pregabalin ve diğer antiepileptikler

Pregabalinin etki mekanizması diğer antikonvülsan ajanlarınkinden farklıdır. Pregabalinin Na⁺ ve Ca²⁺ kanallarına ya da nörotransmitter (glutamat, NMDA, GABA) yanıtlarına direkt etkisi olduğu gözükmemektedir, nörotransmitter alımını (glutamat, GABA) değiştirmez ve çeşitli reseptörlerde (glutamat, GABA, monoamin, adenozi, kolinerjik, opiat) radyoligand bağlanmanın yerini değiştirmez.⁽¹⁹⁾

1.a Pregabalinin GABAerjik sisteme etkisi:

GABA benzeri mekanizmalara direkt etkisi gözükmemektedir.⁽⁵⁾ Pregabalinin GABA_A, GABA_B ya da benzodiazepin reseptörlerine direkt olarak bağlanmadığı kaydedilmiştir;⁽²⁾ aynı zamanda GABA'ya ya da GABA antagonistlerine metabolik olarak dönüşmez ve GABA alımı ya da degradasyonunu değiştirmez.^(16,17,19)

Bir hayvan modelinde, i.p. lipopolisakkarid (LPS), rektal distansiyonla beraber allodini ortaya çıkarmaktadır. LPS'nin rektal allodinik etkisi sistemik morfin sülfat (0.3 mg/kg s.c.) tarafından bloke edilirken, nalokson da morfinin etkisini antagonize etmiştir. Aynı şekilde, pregabalinle ön tedavi (1, 3, 10 ve 30 mg/kg) rektal distansiyona karşı LPS'nin arttırdığı abdominal yanıtta doza bağımlı bir azalma oluşturmuştur ve aynı zamanda 30 mg/kg'lık tek bir i.p. dozun da etkili olduğu gösterilmiştir. Morfinden farklı olarak, pregabalinin antiallodinik etkisi nalokson ön tedavisi ya da GABA_A reseptör antagonisti ile bloke edilmemiştir; bu onun GABA_A ya da opiat reseptörleri vasıtasıyla etki etmediğine ek kanıt oluşturmuştur.⁽²⁵⁾

1.b Pregabalin ve Na⁺ kanalları:

Pregabalinin sıçan beyin membranlarına, transfekte Çin hamster over hücrelerindeki insan tip IIA sodyum akımlarına [3H]-batrakotoksin bağlanmasını ya da sıçan kortikal sinaptozomlarına veratridinin stimüle ettiği kalsiyum akımını inhibe etmemektedir. Bu deneysel kanıtlardan, voltaja duyarlı kalsiyum kanallarının pregabalinin farmakolojik profiline katkı sağlamasının beklenmediği ileri sürülmüştür.⁽³⁴⁾

2. VGCC (voltaja duyarlı kalsiyum kanalları)

VGCC'ler, nöronal aksiyon potansiyelini regüle eden kalsiyum iyonlarına selektif olarak geçiren olan hücre membran glikoproteinleridir.⁽¹⁾ Nöronal eksitabilite ve sinaptik transmisyonda rol oynayan kalsiyum kanallarının elektrofizyolojik ve farmakolojik çalışmalarının voltaj bağımlılığı, kinetikler ve çeşitli farmakolojik ajanlara sensitiviteyi temel alınarak altı sınıf voltaja duyarlı kalsiyum kanalı tanımlanmıştır. Moleküler yapısı fonksiyonel olarak P-, Q-, N-, L-, R- ve T-tipi kalsiyum kanalları belirlenmiştir. Pek çok sinaps N-, P-, Q-'nun çeşitli kombinasyonuna ve zaman zaman R-tipi kalsiyum kanallarına bağımlıdır. Şekil 4'te gösterildiği gibi, VGCC alfa-1 alt ünitesi ve alfa-2-delta, beta ve gamma olan 1:1:1:1 oranındaki üç yardımcı alt ünitelerden oluşur.⁽¹⁾ Presinaptik N ve P/Q voltaja duyarlı kalsiyum kanalları vasküler yumuşak kastaki, nifedipin gibi kalsiyum kanal blokerleriyle etkilenen L tipi voltaja duyarlı kalsiyum kanallarıyla ya da N metil D aspartat glutamat reseptörü kalsiyum kanalına duyarlı liganda-bağlı kalsiyum kanalları (ketamin ve memantinden etkilenen) karıştırılmamalıdır.⁽⁶⁾ Pregabalin N ve P/Q kanallarının alfa-2-delta alt ünitesine bağlanırken, verapamil gibi dihidropiridinler L-tipi kalsiyum kanalları için selektiftir.^(6,35) Bu antihipertansif ilaç tedavilerinden farklı olarak, pregabalinin kan basıncı ya da kardiyak fonksiyon üzerine etkisi yoktur.⁽³⁵⁾

Voltaja duyarlı kalsiyum kanalları vasıtasıyla kalsiyum iyonlarının nöronlara girişi, veziküllerin hücre membranına yapışmalarını ve nörotransmitterlerin sinaptik aralığa salımını tetikler. Belirli patolojik durumlarda, örneğin anormal nöron ateşlemesinin olduğu epilepside ya da nöronların hasar gördüğü nöropatik ağrıda, bu nöronların fazla eksite edilmesi ile sonuçlanır. Fazla eksite edilmiş nöronlarda, kalsiyum iyonlarının içeriye fazla akışı norepinefrin, glutamat ve *substans* P'yi içeren nörotransmitterlerin geniş ve sürekli salımına yol açmaktadır.⁽¹⁾

3. Alfa-2-delta alt ünitesi

Hipereksite nöronlardaki kalsiyum kanallarının alfa-2-delta alt ünitesine pregabalinin potent olarak bağlandıktan sonra bu depolarizasyonla indüklenmiş kalsiyum akışını modüle eder ve bu yolla Şekil 5'te de gösterildiği gibi glutamat, noradrenalin ve substans P gibi pek çok eksitatuvar nörotransmitterlerin salımını azaltır. Bu, sırasıyla postsinaptik reseptörlerin stimülasyonunda azalmaya neden olur ve nöronları normal fizyolojik duruma geri getirir.⁽¹⁾ Pregabalinin bağlanması ile ilgili önemli bir nokta, normal sinir fonksiyonu değişmezken ektopik aktivitenin azalmasıdır.⁽²⁹⁾

Farklı ekspresyonla alfa-2-delta alt ünitesinin dört izoformu vardır;⁽³⁶⁾ alfa-2-delta-1 ve alfa-2-delta-2 küçük dorsal kök gangliyon hücrelerinde yüksek oranda ekspresedir ve alfa-2-delta-3 büyük dorsal kök gangliyon hücrelerinde ve beyinde yüksek oranda ekspresedir.^(36,37) Pregabalinin alfa-2-delta-1 ve alfa-2-delta-2 izoformlarına yüksek afinitede bağlandığı, ama alfa-2-delta-3 ve alfa-2-delta-4 izoformlarına bağlanmadığı kaydedilmiştir.⁽³⁸⁾

Nöropatik ağrı oluşumunda VGCC'lerin alfa-2-delta-1 alt ünitesinin rolü için önemli kanıtlar gösterilmiş ve gabapentin ile pregabalinin analjezik etkilerinin bu alt ünite izoformu ile etkileşimiyle gerçekleştiği ortaya koyulmuştur, ancak alfa-2-delta-2 alt ünitesi için halen nöropatik ağrı oluşumunda yeterli veri bulunmamaktadır.^(39,40,41) Gabapentinin etkili olduğu nöropatik ağrı modellerinde, alfa-2-delta-1 ekspresyonunun yukarı regülasyonunun dorsal kök gangliyonu ya da spinal kordda belirgin olduğu gözlenmiştir.⁽³⁸⁾

PREKLİNİK TOKSİSİTE ve DİĞER VERİLER

Sıçanlarda yapılan iki çalışmada oküler lezyonlar gözlenmesine rağmen, benzer lezyonlar fare ve maymun çalışmalarında gözlenmemiştir. Retinal ve optik sinir toksisitesi, pregabalin tedavisi sırasında veya sonrasında klinik çalışmalara katılan 3615 hastada tespit edilmemiştir.⁽²⁾

Pregabalin in vitro bakteri ve memeli hücrelerinde mutajenik değildir, memeli sistemlerinde in vitro ve in vivo klastojenik olmayıp fare ya da sıçan hepatositlerinde öngörülme DNA sentezini indüklememiştir.⁽⁷⁾

Pregabalinle 2 yıllık karsinogenesis çalışmaları sıçanlarda ve farelerde yürütülmüştür. Wistar sıçanlarında, önerilen maksimum insan maruziyet dozundan yaklaşık 24 kat daha fazla olan plazma maruziyetiyle ilişkili dozlardaki (erkeklerde 50, 150 ya da 450 mg/kg, dişilerde 100, 300 ya da 900 mg/kg) pregabalinin iki yıl boyunca yiyeceklerle verilmesi sonrası uygulandığı iki çalışmada, kanserojeneze ait bir kanıt görülmemiştir. Farelerde (B6C3F1 ve CD-1 suşları), ortalama insan maruziyetine benzer maruziyetlerde hiçbir artmış tümör insidansı bulunmamış, ama daha yüksek maruziyetlerde artmış hemanjiyosarkom insidansı gözlenmiştir.^(2,3,7) Sıçanlar ve köpeklerdeki çalışmalar, herhangi bir tümörün ortaya çıkışını göstermediği için farelerdeki tümörlerin, insanlarda tümör riskini yansıtmadığını beklenmediği belirtilmiştir.⁽⁴²⁾

Birçok antiepileptik ilaç hamilelik sırasında kontraendike olduğundan, ayrıntılı hayvan çalışmaları yapılmaktadır. Hamile sıçanlarda yapılan çalışmalarda pregabalin maternal toksisiteyi 100 mg/kg dozları üzerinde göstermiştir. 2500 mg/kg dozlarına kadar ölüm gerçekleşmemiştir. Bu dozlarda doğum sorunları ve distosi gözlenmiştir.

250 mg/kg dozlarının üzerinde hayvanlarda postimplamantasyon kayıplar ve neonatal ölümler gözlenmiştir.⁽⁴⁾ İnsanlarda hamilelik kategorisi sınıfı C olarak bildirilmiştir.⁽²⁾

Pregabalin fare, sıçanlar ve tavşanlarda teratojenik bulunmamıştır.⁽³⁾

Pregabalin, in vitro ve in vivo testler dizisi sonuçları temel alındığında genotoksik değildir.⁽³⁾

Prenatal/postnatal toksisite çalışmalarında, pregabalin insanda önerilen maruziyetin iki kattan daha fazlasına maruz kalan sıçanlarda gelişimsel toksisiteyi indüklemiştir.⁽³⁾

Erkeklerde üreme toksisitesine dair prelinik fertilité çalışmalarında, önerilen maksimum insan dozundan (600 mg/gün) yaklaşık 3 kat daha fazla olan plazma pregabalin maruziyeti ile ilişkilendirilmiş dozlarda hiçbir etki gözlenmemiştir. Önerilen maksimum insan maruziyetinin üç katını aşan dozlarda belirlenen fertilité parametreleri üzerine etkileri ise bu çalışma sürelerinde (3-4 ay) normale geri dönmüştür. Üreme organlarında histopatolojik değişimler ise maksimum insan dozunun 8 katı dozlarında gözlenmiştir.⁽⁷⁾

Mevcut prelinik dataya göre pregabalinin kötüye kullanım potansiyeli çok düşüktür ve belirgin fiziksel bağımlılık yapması beklenmemektedir. Kimyasal yapısı ve reseptör etkileşimleri bilinen kötüye kullanılan hiçbir maddeye benzememektedir. Hayvan çalışmalarında pregabalinin, kötüye kullanılan ilaçlarla ilişkili subjektif ve ödüllendirici etkileri yapmadığı gözlenmiştir. İnsan olmayan primatlarda benzodiyazepin benzeri ayırt edici stimulus ortaya çıkarmamakta ve sıçanlarda koşullandırılmış yer tercihini indüklememektedir.⁽⁴³⁾

TARTIŞMA

Pregabalin epilepsi, anksiyete, nöropatik ağrı gibi çok sayıdaki durumda aktivite gösteren yeni tanımlanmış bir etki mekanizması olan bir hayli potent bir bileşiktir. GABA yapısal analogu olmasına rağmen GABA benzeri mekanizmalar üzerine direkt etkisi yoktur. Pregabalin hayvan modellerinde antikonvülsan, analjezik ve anksiyolitik aktivite gösteren "voltaja duyarlı kalsiyum kanallarının," "alfa-2-delta" alt ünitesinin yeni bir ligandıdır. Kalsiyum kanalının alfa-2-delta alt ünitesine potent olarak bağlandıktan sonra, depolarizasyonla indüklenmiş kalsiyum girişini azaltır ve dolayısıyla pek çok eksitatuvar nörotransmitterin salımını azaltır.⁽¹⁻⁵⁾

Pregabalin sıçanlarda, elektroşokun indüklediği nöbetler, kindling nöbetleri, kimyasal konvülsanların indüklediği nöbetler ve genetik olarak duyarlı hayvanlardaki nöbetler de dahil olmak üzere antikonvülsan aktivite gösterir.^(4,15,19,20) Çeşitli anksiyete⁽⁸⁾ ve nöropatik ağrı modellerinde^(22,24,27) anksiyolitik, antiallodinik ve antihiperalezik aktivitesini de göstermiştir. Pregabalinin farmakokinetiği dozla orantılıdır ve pregabalin önemli oranda metabolize olmaz. İlaç yüksek biyoyararlanıma sahiptir. Plazma proteinlerine bağlanmaz. Sitokrom p450 izoenzimlerinin aktiviteleri üzerine önemli in vitro etki göstermez.^(4,19) Bu makalede antikonvülsan, analjezik ve anksiyolitik olarak pregabalinin prelinik verileri gözden geçirilmiştir.

KAYNAKLAR

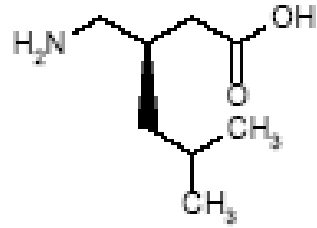
1. Kavoussi R. From molecule to medicine. European Neuropsychopharmacology 2006;16:S128-S133.
2. Cada DJ, Levien T, Baker DE. Pregabalin. Hospital Pharmacy 2006;41(2):157-172.
3. Data on File, Pfizer.
4. Martin L, Rabasseda X, Leeson P, Castaner J. Pregabalin. Drugs of the Future 1999;24(8):862-870.
5. Brodie MJ. Pregabalin as adjunctive therapy for partial seizures. Epilepsia 2004;45(Suppl 6):19-27.
6. Guay DRP. Pregabalin in Neuropathic Pain: A More "Pharmaceutically Elegant" Gabapentin? Am Geriatr Pharmacother 2005;3:274-287.
7. Lyrica [ürün prospektüsü]. NewYork: Pfizer Inc; August 2005.
8. Field MJ, Oles RJ, Singh L. Pregabalin may represent a novel class of anxiolytic agents with a broad spectrum of activity. Br J Pharmacol 2001;132(1):1-4.
9. Fink K, Dooley DJ, Meder WP, Suman-Chauhan N, Duffy S, Clusmann H, Göthert M. Inhibition of neuronal Ca(2+) influx by gabapentin and pregabalin in the human neocortex. Neuropharmacology 2002;42:229-236.
10. Jun JH, Yaksh TL. The effect of intratekal gabapentin and 3-isobutyl gamma-aminobutyric acid on the hyperalgesia observed after Thermal injury in the rat. Anesth Analg 1998;86:348-354.
11. Field MJ, McCleary S, Hughes J, Singh L. Gabapentin and pregabalin, but not morphine and amitriptyline, block both static and dynamic components of mechanical allodynia induced by streptozocin in the rat. Pain 1999;80:391-398.

12. Belliotti TR, Capiris T, Ekhatov IV, et al.. Structure-Activity Relationships of Pregabalin and Analogues That Target the alpha-2-delta Protein. *J. Med. Chem* 2005;48:2294-2307.
13. Jezyk N, Li C, Stewart BH, Wu X, Bockbrader HN, Fleisher D. Transport of pregabalin in rat intestine and Caco-2 monolayers. *Pharm Res* 1999;16:519-26.
14. Welty, D, Wang, Y, Busch, JA, Taylor, CP, Vartanian, MG, Radulovic, LL Pharmacokinetics (PK) and pharmacodynamics (PD) of CI-1008 (pregabalin) and gabapentin in rats with maximal electroshock. *Epilepsia* 1997, 38(Suppl. 8): Abst 1.110.
15. Vartanian MG, Radulovic LL, Kinsora JJ, Serpa KA, Vergnes M, Bertram, Taylor CP. Activity profile of pregabalin in rodent models of epilepsy and ataxia. *Epilepsy Research* 2006;68:189-205.
16. Bialer M, Johannessen, Kupferberg HJ, Levy RH, Loiseau P, Perucca E. Progress report on new antiepileptic drugs: a summary of the fourth Eilat conference (EILAT IV). *Epilepsy Research* 1999;34:1-41.
17. Johnson S, Johnson FN (ed). Pregabalin. *Pharmacotherapy Monographs Vol:2*. Maurius Press, 2007, Lancashire, UK.
18. Radulovic LL, Busch JA, Windsor BL, McNally WP, Sinz MW, Bockbrader HN. Pharmacokinetics of the anticonvulsant agent, CI-1008, in laboratory animals. *Pharm Res* 1996;13 (Suppl):S480.
19. Ben-Menachem E. Pregabalin pharmacology and its relevance to clinical practice. *Epilepsia* 2004;45 (Suppl 6):13-18.
20. Taylor CP, Vartanian MG. Profile of the anticonvulsant activity of CI-1008 (pregabalin) in animal models. *Epilepsia* 1997;38 (Suppl 8):35.
21. Warner G, Figgitt DP. Pregabalin As Adjunctive Treatment of Partial Seizures. *CNS Drugs* 2005;19 (3):265-272.
22. Frampton JE, Scott LJ. Pregabalin In the Treatment of Painful Diabetic Peripheral Neuropathy. *Drugs* 2004;64 (24):2813-2820.
23. Bryans JS, Wustrow DJ. 3-Substituted GABA Analogs with Central Nervous System Activity: A Review. *Med Res Rev* 1999;19:149-177.
24. Martin L et al. Pregabalin. *Drugs of the Future* 2000, 25(8):877-879.
25. Eutamene H, Coelho A-M, Theodorou V, et al. Antinociceptive effect of pregabalin in septic shock-induced rectal hypersensitivity in rats. *J Pharmacol Exp Ther* 2000;295(1):162.
26. Nozaki-Taguchi N, Chaplan SR, Higuera ES, Ajakwe RC, Yaksh TL. Vincristine induced allodynia in the rat. *Pain* 2001;93:69-76.
27. Julia V, Raymond F, Chovet M, Doherty AM. Ligature of the left pelvic nerve: A new model of chronic non inflammatory visceral hyperalgesia. Effect of naproxen and pregabalin. *Gastroenterology* 2000;118(4, Suppl. 2, Part 1):A835.
28. Wallin J, Cui JG, Yakhnitsa V, Schechtmann G, Meyerson BA, Linderoth B. Gabapentin and pregabalin suppress tactile allodynia and potentiate spinal cord stimulation in a model of neuropathy. *Eur J Pain* 2002;6:261-272.
29. Chen SR, Xu Z, Pan HL. Stereospecific effect of pregabalin on ectopic afferent discharges and neuropathic pain induced by sciatic nerve ligation in rats. *Anesthesiology* 2001;95:1473-1479.

30. Field MJ, Bramwell S, Hughes J, Singh L. Detection of static and dynamic components of mechanical allodynia in rat models of neuropathic pain: Are they signalled by distinct primary sensory neurones? *Pain*. 1999;83:303-311.
31. Field MJ, Holloman EF, McCleary S, Hughes J, Singh L. Evaluation of gabapentin and S-(+)-3-isobutylgaba in a rat model of postoperative pain. *J Pharmacol Exp Ther* 1997;282:1242-1246.
32. Jones DL, Sorkin LS. Systemic gabapentin and S(+)-3-isobutyl gamma aminobutyric acid block secondary hyperalgesia. *Brain Res* 1998;810:93-99.
33. Kubota T, Fang J, Meltzer LT, Krueger JM. Pregabalin enhances nonrapid eye movement sleep. *J Pharmacol Exp Ther* 2001;299:1095-1105.
34. Sills GJ. The mechanisms of action of gabapentin and pregabalin. *Current Opinion in Pharmacology* 2006;6:108-113.
35. Gajraj NM. Pregabalin for Pain Management. *Pain Practice* 2005;5 (2):95-102.
36. Taylor CP. The Biology and Pharmacology of Calcium Channel $\alpha_2\text{-}\delta$ Proteins Pfizer Satellite Symposium to the 2003 Society for Neuroscience Meeting Sheraton New Orleans Hotel New Orleans, LA November 10, 2003. *CNS Drug Reviews* 2004;10(2):183-188.
37. Yusaf SP, Goodman J, Pinnock RD, Dixon AK, Lee K. Expression of voltage-gated calcium channel subunits in rat dorsal root ganglion neurons. *Neurosci Lett* 2001;311:137-41.
38. Gilron I, Flatters SJL. Gabapentin and pregabalin for the treatment of neuropathic pain: A review of laboratory and clinical evidence. *Pain Res Manage* 2006;11 (Suppl A):16A-29A.
39. Luo ZD, Chaplan SR, Higuera ES, et al. Upregulation of dorsal root ganglion (alpha)2(delta) calcium channel subunit and its correlation with allodynia in spinal nerve-injured rats. *J Neurosci* 2001;21:868-75.
40. Newton RA, Bingham S, Case PC, Sanger GJ, Lawson SN. Dorsal root ganglion neurons show increased expression of the calcium channel alpha2delta-1 subunit following partial sciatic nerve injury. *Brain Res Mol Brain Res* 2001;95:1-8.
41. Li CY, Song YH, Higuera ES, Luo ZD. Spinal dorsal horn calcium channel alpha2delta-1 subunit upregulation contributes to peripheral nerve injury-induced tactile allodynia. *J Neurosci* 2004;24:8494-9.
42. Lauria-Horner BA, Pohl RB. Pregabalin: a new anxiolytic. *Expert Opin Investig. Drugs* 2003;12(4):663-672.
43. Montgomery SA. Pregabalin for the treatment of generalised anxiety disorder. *Expert Opin. Pharmacother* 2006;7(15):2139-2154.
44. Walker D, De Waard M. Subunit interaction sites in voltage-dependent Ca^{2+} channels: role in channel function. *Trends Neurosci* 1998;21:148-154.

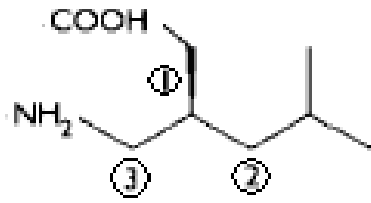


GABA



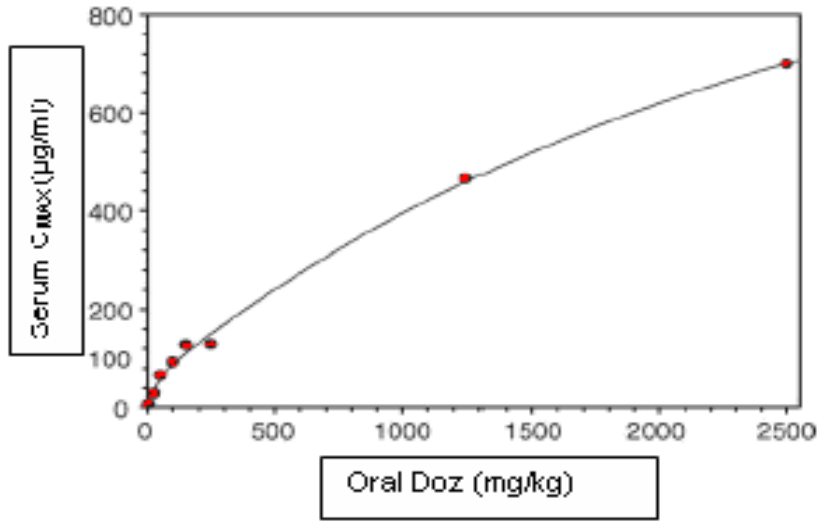
Pregabalin

Şekil 1. GABA ve pregabalinin kimyasal yapıları [Martin 1999 (Kaynak 4) & Kavoussi 2006'dan (Kaynak 1) adapte edildi]

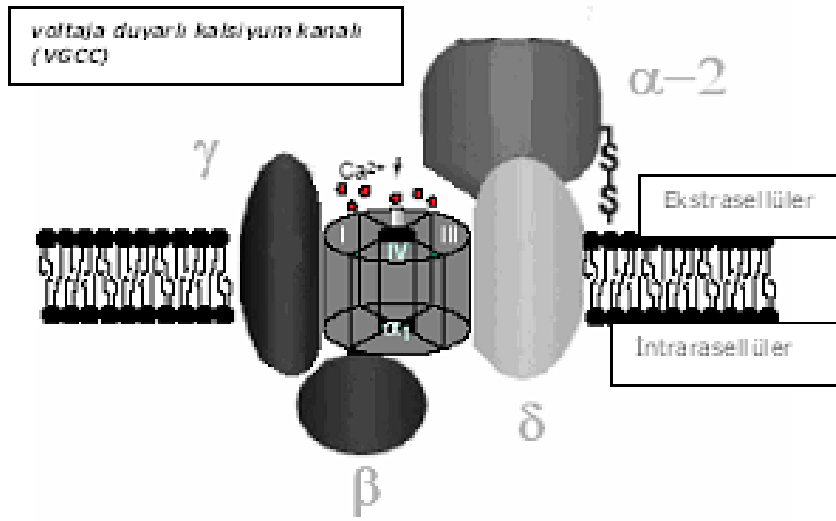


Pregabalin

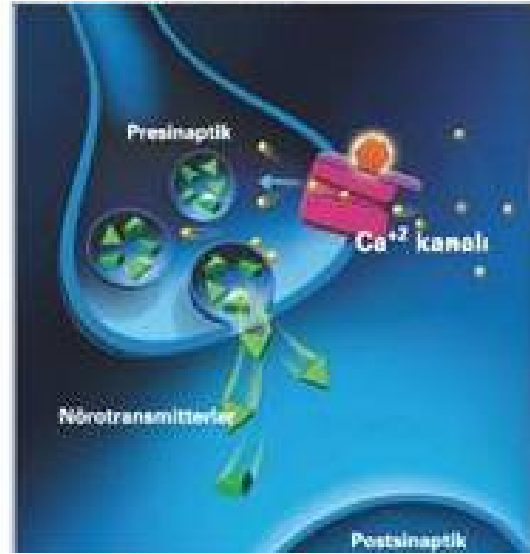
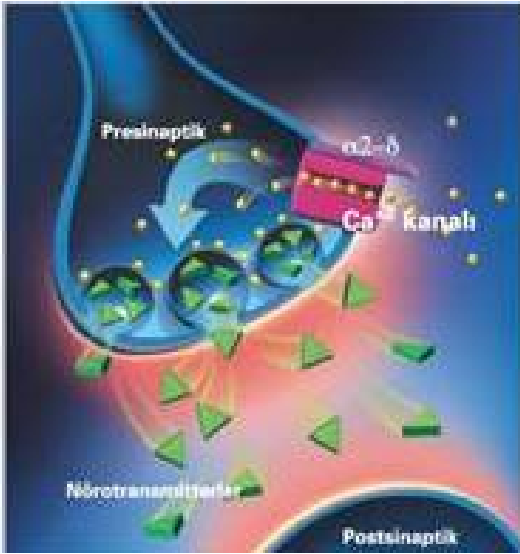
Şekil 2. Yapı-aktivite ilişkisi çalışmalarında pregabalin kimyasal yapısının pek çok yan-zincir elemanlarının stereokimyasal oryantasyonu bileşiğin farmakolojik aktivitesi ile sonuçlanır [Guay 2005'ten (Kaynak 6) adapte edildi]



Şekil 3. Sıçanlara uygulanmasından sonra pregabalin maksimum plazma ilaç konsantrasyonunun artan dozlarla birlikte lineer şekildeki artışı [Vartanian 2006'dan (Kaynak 15) adapte edildi]



Şekil 4. Voltaja duyarlı kalsiyum kanallarının yapısal organizasyonları (VGCC'ler) [Gajraj 2005 (Kaynak 35) ve Walker 1998'den (Kaynak 44) adapte edildi]



Şekil 5. Pregabalinin etki mekanizması [Kavoussi 2006'dan (Kaynak 1) adapte edildi]

Tablo 1. Farklı hayvan modellerinde pregabalinin deneysel antikonvülsan profili (Martin1999 ve Bialer 1999'dan adapte edildi)

| Test | Model | Veriliş yolu | ED₅₀ |
|---|--------------|---------------------|------------------------|
| <i>Maksimal elektroşokla indüklenen nöbetler:</i> | Fare | i.v. | 20 mg/kg |
| | Fare | p.o. | 17 mg/kg |
| <i>Elektroşokun indüklediği nöbetler</i> | Fare | i.v. | 0.7-1.4 mg/kg |
| | Fare | p.o. | 1.8 mg/kg |
| <i>Kimyasal konvülsanın indüklediği nöbetler:</i> | | | |
| <i>PTZ</i> | Fare | p.o. ya da i.p. | 100 mg/kg |
| <i>bikukulin ya da pikrotoksin</i> | Fare | i.p. | 250 mg/kg |
| <i>Genetik olarak duyarlı hayvanlar:</i> | | | |
| <i>DBA:2 odiyojenik fare</i> | Fare | p.o. | 3 ve 10 mg/kg |
| <i>GAERS</i> | Sıçanlar | | Etki yok |

i.v.: intravenöz; p.o.: per oral; i.p.: intraperitoneal; PTZ: pentilenetrazol

Tablo 2. Nöropatik ve inflamatuvar ağrının değişik hayvan modellerindeki nosiseptif davranışlara pregabalinin etkinliği (Martin 2000, Bryans 1999 ve Guay 2005'ten adapte edildi)

| Model | Zorluk | Veriliş yolu | Pregabalin sonucu |
|--|---|--------------------------------------|--|
| <i>Intratekal substans P</i> | Termal hiperaljezi | i.t., i.p. | ED ₁₀₀ 65 µg ED ₁₀₀ 31 mg/kg |
| <i>Intratekal NMDA</i> <i>Formalin enjekte edilmiş</i> <i>sıçanlar</i> | Termal hiperaljezi Zararlı davranışlar (kıvrınmak, yalanmak, vücut kontraksiyonu, gerilme gibi) | i.t. i.c.v., s.c., i.t. | ED ₁₀₀ 30 mg/kg 0.8 mg/kg (%99 redüksiyon) 200 mg/kg (%70.8) 300 µg/sıçan (%60.4) |
| <i>Termal hasar</i> <i>Vinkristinin indüklediği</i> <i>Diabetik sıçan nöropatik</i> <i>ağrı modeli</i> | Termal hiperaljezi Allodini Statik mekanik allodini | i.t. i.p. p.o. | ED _{10S} 119 µg ED: 80 mg/kg MED ≤3 mg/kg |
| <i>Lipopolisakkaridle</i> <i>indüklenmiş rektal</i> <i>hipersensitivite</i> <i>Sıçan pençesi formalin</i> <i>testi</i> | Dinamik mekanik allodini Allodini Geç faz yalama | p.o. i.p. p.o. s.c. | MED 10 mg/kg ED: 10 ve 30 mg/kg ED: 1- 30 mg/kg MED 10 mg/kg |
| <i>Sol pelvis sinir ligasyonu</i> <i>Siyatik sinir ligasyonu</i> | Mekanik allodini Taktıl allodini ve Termal hiperaljezi | p.o. i.v. | ED: 100 mg/kg ED: 10-30 mg/kg |
| <i>Karragenanla indüklenen</i> <i>hiperaljezi</i> <i>Fotokimyasal yolla</i> <i>indüklenmiş iskemik</i> <i>siyatik sinir</i> <i>Postoperatif sıçan</i> | Termal hiperaljezi ve Mekanik hiperaljezi Taktıl allodini Mekanik allodini Termal hiperaljezi | s.c. i.v. i.t. s.c. s.c. | MED 3 mg/kg ED: 5-50 mg/kg ED: 3.8-60 µg MED 3 mg/kg MED 10 mg/kg |

i.v.: intravenöz; i.t.: intratekal; i.c.v.: intraserebroventriküler; p.o.: per oral; i.p.: intraperitoneal; s.c.: subkutan; ED: etkili doz; ED_{10S}: çekilme gecikmesini 10 saniyeye arttıran doz; MED: minimum etkili doz