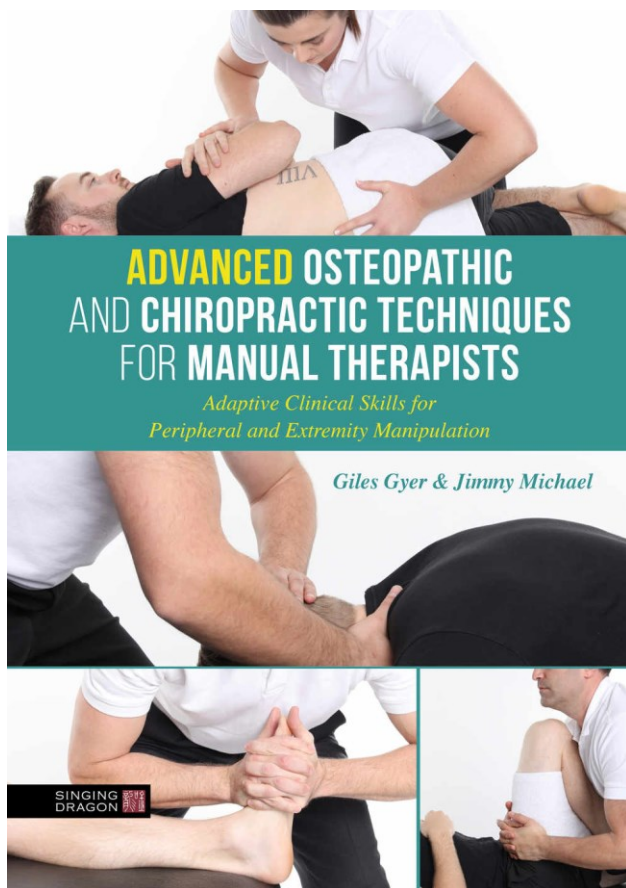


تکنیک‌های پیشرفته استخوان‌درمانی (اُستئوپاتیک) و کایروپراکتیک
مهارت‌های بالینی تطبیقی برای برای منوال تراپیست‌ها
مانیپولاسیون محیطی و اندام‌ها



Jimmy Michael, Giles Gyer

مؤلفین: جیمی مایکل، گیلز گایر

مترجم: مهندس علیرضا صالحین



انتشارات علمی صالحین

نام کتاب: تکنیک های پیشرفته استخوان درمانی (استئوپاتیک) و کایروپراکتیک برای منوال تراپیست ها

مهارت های بالینی تطبیقی برای مانپولاسیون محیطی و اندام ها

مولفین : جیمی مایکل، گیلز گایر

مترجم : مهندس علیرضا صالحین

ویراستار : پویا آرزومند لنگرودی امیدی

گرافیک : کتابون علی نوری

سال چاپ: اول ۱۴۰۴

شمارگان: ۱۰۰

قیمت : ۳۵۰۰۰۰ تومان

شابک: ۹۷۸-۶۲۲-۸۸۹۸۹-۶-۴

حق چاپ برای نشر علمی صالحین محفوظ می باشد.

نشانی: تهران، خیابان آزادی، بعد از خیابان شادمهر، ساختمان اداری شادمان، پلاک ۳۹۹، طبقه چهارم، واحد ۲۳

سرشناسه	:	گایر، جیلز Gyer, Giles
عنوان و نام پدیدآور	:	تکنیک های پیشرفته استخوان درمانی (استئوپاتیک) و کایروپراکتیک مهارت های بالینی تطبیقی برای منوال تراپیست ها مانپولاسیون محیطی و اندام ها
مشخصات نشر	:	مولفین جیمی مایکل، گیلز گایر [مصحح: گیلز گایر، جیمی مایکل]
مشخصات ظاهری	:	مترجم علیرضا صالحین، ویراستار پویا آرزومند لنگرودی امیدی.
شابک	:	کهران: علمی صالحین، ۱۴۰۴.
و مشخصات فقهی کتاب	:	۲۶۴ ص: مصور، جدول.
پیدایش	:	978-622-88989-6-4
پیدایش	:	فنا
پیدایش	:	عنوان اصلی: adaptive clinical skills for peripheral and extremity manipulation, 2020.
پیدایش	:	Advanced osteopathic and chiropractic techniques for manual therapists :
پیدایش	:	واژه نامه
پیدایش	:	کتابخانه
موضوع	:	درمان های دستی Manipulation (Therapeutics) استئوپاتی Osteopathic medicine مهرجوری Chiropractic مایکل، جیمی Michael, Jimmy
شناسه الفروده	:	شناسه الفروده
شناسه الفروده	:	شناسه الفروده
شناسه الفروده	:	شناسه الفروده
رده بندی کنگره	:	RZ۳۴۲
رده بندی دیویی	:	۶۱۵/۵۳۳
تعارف کتابشناسی ملی	:	۱۰۲۹۰۳۵۵
اطلاعات رگورد کتابشناسی	:	فرا

مقدمه مترجمان:

هیچ اثر بی نقصی وجود ندارد، لطفاً نقطه نظرات خویش را با نشر دانشگاهی فرهمند، با کانال: farhamandpress@، اینستاگرام: nashr.farahmand@، وبسایت: www.farbook.ir و شماره ۰۲۱-۶۶۹۶۸۶۱۴ یا ۰۹۱۲۵۰۱۰۰۳۰ تماس حاصل فرمایید. نحوه ارتباط با مدیر علمی نشر: @Alirezasalehin، سایر منابع از کانال تلگرامی @seismicisolation که کتابخانه عظیم مهندسی عمران (سازه، زلزله و ژئوتکنیک و ...) می باشد، در دسترس و دانلود می باشد و عزیزان می توانند منابع مورد نیاز خود را از آنها تهیه و استفاده نمایند.

مهندس علیرضا صالحین، مهندس علی حیدری، مهندس پویا آرزومند امیدی لنگرودی تابستان ۱۴۰۴

فهرست مطالب:

۱. درمان منیپولیشن ستون فقرات
۲. آیا منیپولیشن می تواند بر اندام های درونی تأثیر بگذارد؟
۳. تصورات غلط در لمس حرکتی
۴. ستون فقرات گردن
روش های منیپولیشن ستون فقرات گردن
روش های منیپولیشن مفصل فک و گیجگاه
۵. ستون فقرات سینه ای
روش های منیپولیشن ناحیه اتصال گردن-سینه
روش های منیپولیشن ستون فقرات سینه ای
۶. شانه و قفسه سینه
روش های منیپولیشن شانه
روش های منیپولیشن دنده ها
۷. آرنج، مچ و دست
روش های منیپولیشن آرنج
روش های منیپولیشن مچ دست
۸. ستون فقرات کمر
روش های منیپولیشن ستون فقرات کمر
۹. لگن، مفصل ران و دنبالچه
روش های منیپولیشن مفصل ران
۱۰. زانو، مچ پا و پا
روش های منیپولیشن زانو
روش های منیپولیشن پا و مچ پا

۱- درمان منیپولیشن ستون فقرات (Spinal Manipulation Therapy)

آیا همه چیز به مغز برمی گردد؟ مروری بر اثرات نوروفیزیولوژیک منیپولیشن

مقدمه

منیپولیشن ستون فقرات (Spinal manipulation) نوع تخصصی از درمان منوال (Manual therapy) است که از روش‌های درمانی غیرتهاجمی برای کنترل درد و ناتوانی عضلانی-اسکلتی (Musculoskeletal pain and disability) استفاده می‌کند. این روش درمانی به عنوان گزینه‌ای مؤثر برای کنترل انواع بیماری‌های عضلانی-اسکلتی (Musculoskeletal disorders) شناخته شده و در سراسر جهان توسط متخصصان سلامت از رشته‌های مختلف نظیر استئوپات‌ها (Osteopaths)، کایروپراکتورها (Chiropractors)، پزشکان طبعت درمان (Naturopathic physicians) و فیزیوتراپیست‌ها (Physiotherapists) به کار گرفته می‌شود.

با این همه، درک کمی از چگونگی کارکرد این روش درمانی وجود دارد، به‌ویژه اینکه چطور اثرات کنترل درد (Pain-modulatory effects) خود را اعمال می‌کند. در دهه گذشته، نظریه‌های بسیاری برای توضیح مکانیسم‌های منیپولیشن ستون فقرات مطرح شده است، اما داده‌های موجود از مطالعات مکانیسمی (Mechanistic studies) برای روشن کردن پیامدهای بالینی کوتاه‌مدت یا بلندمدت منیپولیشن کافی نیست.

بیشتر نظریه‌های اولیه که برای توضیح اثرات ضددردی (Analgesic) و کاهش حساسیت به درد (Hypoalgesic effects) منیپولیشن ستون فقرات مطرح شدند، شدیداً روی تغییرات زیست‌مکانیکی (Biomechanical changes) پس از درمان تمرکز داشتند. اما در سال‌های اخیر، تغییر دیدگاه (Paradigm shift) به سمت مکانیسم نوروفیزیولوژیک (Neurophysiological mechanism) منیپولیشن ستون فقرات رخ داده است، چرا که تعداد فزاینده‌ای از مطالعات اخیر اثرات عصبی مختلف منیپولیشن ستون فقرات را گزارش کرده‌اند، مانند:

- تغییرات در پردازش حسی-بدنی (Somatosensory processing)
- واکنش‌های انعکاسی ماهیچه‌ای (Muscle-reflexogenic responses)
- تحریک‌پذیری حرکتی مرکزی (Central motor excitability)
- فعالیت نورون حرکتی (Motor neurone activity)
- پاسخ‌های انعکاس هافمن (Hoffmann reflex [H-reflex] responses)
- فعالیت سمپاتیک (Sympathetic activity)
- حساسیت‌سازی مرکزی (Central sensitisation)

این مطالعات نشان داده‌اند که پس از منیپولیشن ستون فقرات، آشناری از واکنش‌های نوروشیمیایی (Neurochemical responses) در سیستم عصبی مرکزی و محیطی (Central and peripheral nervous system) رخ می‌دهد.

peripheral nervous system) رخ می‌دهد. بنابراین فرض بر این است که اثرات کنترل درد مشاهده‌شده در منیپولیشن ستون فقرات عمدتاً به خاطر مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک است که توسط ساختارهای محیطی، نخاعی و فوق‌نخاعی (Peripheral, spinal and supraspinal structures) واسطه‌گری می‌شوند. به نظر می‌رسد این مکانیسم‌ها توسط محرک مکانیکی (Mechanical stimulus) یا نیروهای زیست‌مکانیکی که در طول عمل منیپولیشن اعمال می‌شوند، فعال می‌شوند. تاکنون، بررسی پیکار (Pickar's [۲۰۰۲]) تنها مطالعه‌ای است که چارچوب نظری برای اثرات نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات ارائه داده است. اگرچه بیالوسکی و همکاران (Bialosky and colleagues [۲۰۰۹]) بعداً مدل جامع و چارچوب جدیدی برای نمایش مکانیسم‌های احتمالی فردی مرتبط با کاهش درد پیشنهاد کردند، کار آن‌ها بر اساس انواع مختلف درمان منوال بود و منحصرأ به منیپولیشن ستون فقرات محدود نمی‌شد.

از طرف دیگر، در دهه گذشته تعداد زیادی مطالعه مکانیسمی (Mechanistic studies) برای درک مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات انجام شده است. این مطالعات واکنش‌های عصبی مختلفی را پس از منیپولیشن نشان داده‌اند. اما هیچ بررسی‌ای برای ارزیابی ارتباط این یافته‌ها با نظریه‌های پیشنهادی و اثرات بالینی مشاهده‌شده نوشته نشده است. بنابراین، هدف این فصل بررسی تمام یافته‌های اخیر درباره اثرات نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات و ارتباط آن‌ها با بهبود پیامدهای بالینی منیپولیشن ستون فقرات است.

بحث و بررسی

رابطه بین تغییرات زیست‌مکانیکی و واکنش‌های نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات
اثرات بالینی منیپولیشن ستون فقرات به واسطه مکانیسم‌های زیست‌مکانیکی (Biomechanical mechanisms) و/یا نوروفیزیولوژیک (Neurophysiological mechanisms) انجام می‌شود. با این حال، مکانیسم دقیق یا مکانیسم‌هایی که منیپولیشن ستون فقرات از طریق آنها اثرات تعدیل‌کننده درد (Pain-modulatory effects) را اعمال می‌کند، بر ترمیم و بهبود بافت (Tissue repair and healing) تأثیر می‌گذارد و توانایی عملکردی (Functional ability) را بازمی‌گرداند، همچنان معمایی باقی مانده است. در طول دهه‌های گذشته، فرضیه‌های متعددی برای توضیح این مکانیسم‌ها ارائه شده است، اما شواهد برای پشتیبانی از این نظریه‌ها همچنان محدود است.

شواهد موجود نشان می‌دهد که اثرات منیپولیشن ستون فقرات فراتر از تغییرات زیست‌مکانیکی است؛ در واقع، آشناری از مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک ممکن است آغاز شود. تغییرات زیست‌مکانیکی که به دلیل منیپولیشن ستون فقرات رخ می‌دهد، تصور می‌شود توسط حرکت مهره‌ای (Vertebral movement) ایجاد شود. فشار پرسرعت و کم‌دامنه (High-velocity, low-amplitude [HVLA] thrust) که در سطح مهره‌ای در طول منیپولیشن ستون فقرات وارد می‌شود، مهره‌ها را روی یکدیگر متحرک می‌کند و فرض می‌شود

که زیست‌مکانیک بخشی (Segmental biomechanics) را تغییر دهد. علاوه بر این، حرکت مهره‌ای تولیدشده پیچیده است، زیرا چندین سطح مهره‌ای مجاور به‌طور همزمان متحرک می‌شوند. چهار نظریه اصلی برای تغییرات زیست‌مکانیکی ناشی از منیپولیشن ستون فقرات وجود دارد. این‌ها عبارتند از: (۱) آزادسازی چین‌های سینوویال گیرافتاده (Entrapped synovial folds) یا منیسکوئیدها (Meniscoids)؛ (۲) بازگردانی بخش‌های حرکتی کج‌شده (Buckled motion segments)؛ (۳) کاهش چسبندگی‌های مفصلی یا پیرامفصلی (Articular or periarticular adhesions)؛ و (۴) عادی‌سازی ماهیچه «فرتون» (Hypertonic muscle) توسط اثر انعکاسی (Reflexogenic effect). با این حال، ارتباط این نظریه‌ها با پیامدهای بالینی نامشخص باقی مانده است. این به دلیل آن است که اگرچه تعدادی از مطالعات حرکت را با منیپولیشن ستون فقرات اندازه‌گیری کرده‌اند، اثرات زیست‌مکانیکی ماهیت گذرا (Transient in nature) داشته‌اند، و هیچ شواهد قابل‌قبولی هنوز برای پشتیبانی از تغییر موقعیت پایدار (Lasting positional change) یافت نشده است.

تاکنون، تنها نظریه انعکاسی ماهیچه‌ای (Muscular reflexogenic theory) شواهد قابل‌قبولی برای پشتیبانی از توضیح مکانیکی خود دارد؛ با این وجود، ادعای بالینی که ماهیچه‌های فرتون تحت تأثیر افزایش بهره انعکاس کشیدگی (Stretch reflex gain) قرار می‌گیرند، هنوز اثبات نشده است. علاوه بر این، توضیح رایجی که به‌طور گسترده برای موفقیت منیپولیشن ستون فقرات تبلیغ می‌شود این است که تغییرات در دینامیک زیست‌مکانیکی، به‌طور خاص نقص‌های موقعیت و حرکت (Position and movement faults) که در معاینه شناسایی می‌شوند، را تصحیح می‌کند. با این حال، اکثر ادبیات کنونی این توضیح را تأیید نمی‌کند. این به دلیل آن است که لمس (Palpation) روشی قابل‌اعتماد برای شناسایی نواحی نیازمند منیپولیشن ستون فقرات تشخیص داده نشده است، و فشار اعمال‌شده در طول درمان نمی‌تواند مخصوص مکان مورد نظر باشد و بین درمانگران متفاوت است.

موفقیت منیپولیشن ستون فقرات در درمان اختلالات عضلانی-اسکلتی علی‌رغم ناسازگاری‌های نظری در مکانیسم‌های زیست‌مکانیکی فرضی آن، امکان مکانیسم‌های اضافی همزمان را نشان می‌دهد. تغییرات زیست‌مکانیکی ایجادشده در نتیجه منیپولیشن ستون فقرات ممکن است واکنش‌های نوروفیزیولوژیک را با تأثیرگذاری بر جریان ورودی حسی (Sensory input) به سیستم عصبی مرکزی (Central nervous system) القا کند. علاوه بر این، نیروی مکانیکی اعمال‌شده در طول منیپولیشن ستون فقرات می‌تواند رشته‌های وایران حساس به مکانیک و درد (Mechanosensitive and nociceptive afferent fibres) را در بافت‌های پشتی ستون فقرات، از جمله پوست، ماهیچه‌ها، دیسک یا دیسک‌ها، فاست، تاندون‌ها و رباط‌ها تحریک یا خاموش کند. تصور می‌شود این ورودی‌ها مکانیسم‌های پردازش درد (Pain-processing mechanisms) و سایر سیستم‌های فیزیولوژیک متصل به سیستم عصبی را تحریک کنند.

در پشتیبانی از این فرضیه، پیکار و بولتون (Pickar and Bolton) این مفهوم را توسعه دادند که واکنش‌های عصبی ناشی از سیستم عصبی به دلیل محرک مکانیکی ممکن است به دلیل تغییرات در ورودی حسی محیطی (Peripheral sensory input) از بافت‌های پشتی ستون فقرات باشد.

در مجموع، می‌توان گفت که تغییرات در زیست‌مکانیک ستون فقرات زنجیره واکنش‌های نوروفیزیولوژیک مسئول پیامدهای درمانی مرتبط با منیپولیشن ستون فقرات را آغاز می‌کند، و پتانسیل اثرات ترکیبی زیست‌مکانیکی و نوروفیزیولوژیک پس از منیپولیشن ستون فقرات وجود دارد. با این حال، تعامل احتمالی این اثرات اغلب در ادبیات کنونی نادیده گرفته شده است. امکان اثر ترکیبی مهم است زیرا ویژگی‌های زیست‌مکانیکی یک منیپولیشن ستون فقرات خاص نشان داده شده که رابطه دوز-پاسخ (Dose-response relationship) منحصربه‌فردی با واکنش‌های زیست‌مکانیکی، عصبی-عضلانی (Neuromuscular) و نوروفیزیولوژیک دارد.

برای مثال، واکنش‌های الکترومیوگرافیک (Electromyographic [EMG]) پشتی ستون فقرات وابستگی آشکاری به ویژگی‌های نیرو/زمان (Force/time characteristics) فشار مکانیکی اعمال‌شده در طول منیپولیشن ستون فقرات دارند. بنابراین، مطالعات بالینی آینده باید برای بررسی رابطه بین تغییرات در پارامترهای مکانیکی (مثل پیش‌بار، نیروی اوج و فشار) و واکنش‌های فیزیولوژیک و ارتباط پارامترهای متغیر با پیامدهای بیولوژیک و درمانی انجام شود.

اثرات نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات

نویسندگان زیادی مدت‌هاست فرض کرده‌اند که منیپولیشن ستون فقرات اثرات درمانی خود را به وسیله تعدادی از مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک که به تنهایی یا در ترکیب کار می‌کنند، اعمال می‌کند. این مکانیسم‌ها شامل تعاملات پیچیده بین سیستم عصبی محیطی (Peripheral nervous system) و سیستم عصبی مرکزی است، و تصور می‌شود زمانی که منیپولیشن ستون فقرات و ابران حسی پشتی ستون فقرات (Paraspinal sensory afferents) را فعال می‌کند، به حرکت درمی‌آیند.

فعال‌سازی نورون‌های حسی (Sensory neurons) فرض می‌شود یا در طول مانور خود و/یا به دلیل تغییرات در زیست‌مکانیک ستون فقرات رخ دهد. این ورودی‌های حسی پشتی ستون فقرات فرض می‌شود که یکپارچگی عصبی (Neural integration) را یا با تأثیر مستقیم بر فعالیت انعکاسی (Reflex activity) و/یا با تأثیرگذاری بر یکپارچگی عصبی مرکزی در مجموعه نورون‌های حرکتی، درد و احتمالاً خودکار (Motor, nociceptive and possibly autonomic neuronal pools) تغییر دهند.

با این حال، از آنجا که مطالعات زیست‌مکانیکی کنونی منیپولیشن ستون فقرات قادر به مشاهده تغییرات رخ داده در مغز پس از درمان نیستند - برای مثال، چگونه نورون‌های وابر حسی (Sensory afferent neurons) با تعامل با آنهایی که در سیستم عصبی مرکزی هستند اثرات نوروفیزیولوژیک تولید می‌کنند - اعتبار و ارتباط مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک نظریه‌پرداز شده در رابطه با پیامدهای درمانی نامشخص باقی می‌ماند. مفاهیم

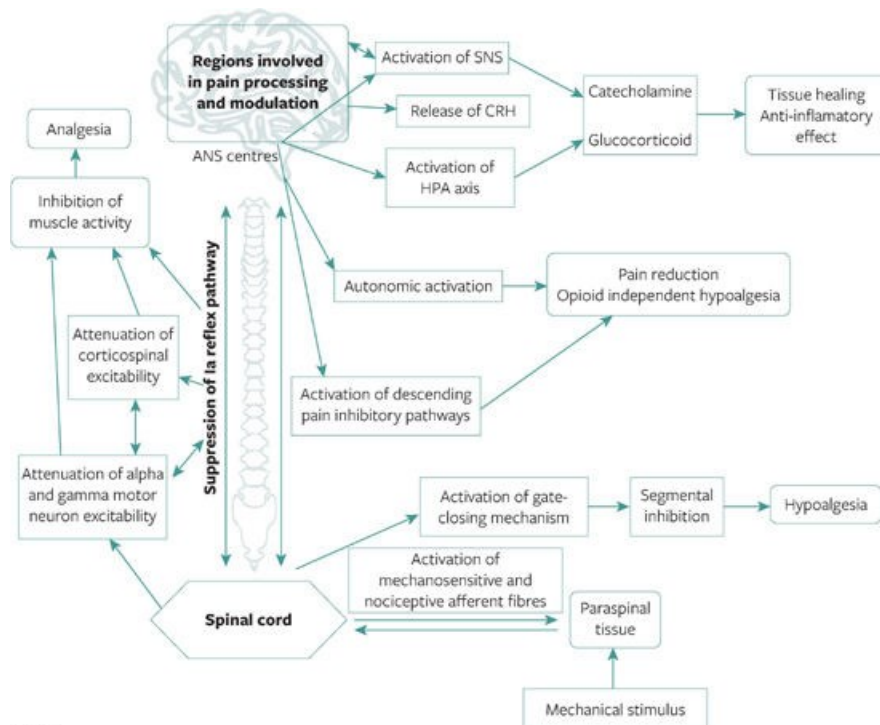
مکانیسم های عصبی خاص منیپولیشن از واکنش های نوروفیزیولوژیک مرتبط که در مطالعات مکانیسمی مشاهده شده اند، پیشنهاد می شوند.

در طول دهه های گذشته، تعدادی از اثرات عصبی خاص و غیر خاص منیپولیشن ستون فقرات گزارش شده اند، از جمله:

- افزایش تخلیه وابر (Afferent discharge)
- تحریک پذیری حرکتی مرکزی (Central motor excitability)
- تغییرات در پردازش درد (Pain processing)
- کاهش جمع آوری زمانی (Temporal summation)
- تحریک سیستم عصبی خودکار (Autonomic nervous system)
- کاهش درک درد (Pain perception)
- و موارد بسیار دیگر

این واکنش های عصبی مجموعاً مکانیسم های واسطه گری شده توسط سیستم عصبی را نشان می دهند. شکل ۱-۱ مدل نظری جدیدی ارائه می دهد که اثرات نوروفیزیولوژیک پیشنهادی منیپولیشن ستون فقرات را بر اساس یافته های ادبیات مکانیسمی کنونی نشان می دهد.

این مدل به شدت از مدل جامع ارائه شده توسط بیالوسکی و همکاران الهام گرفته است، که با تفسیر ادبیات چندین شکل از درمان منوال شامل درمان های مبتنی بر عصب (Nerve-based)، بسیج (Mobilisation)، منیپولیشن و پیام (Message therapies) ترسیم شده بود؛ از این رو، ارتباط آن با منیپولیشن ستون فقرات به تنهایی نامشخص است. مدل نظری که ما در اینجا پیشنهاد می کنیم، فقط شامل ادبیات مربوط به منیپولیشن فشار پرسرعت و کم دامنه (HVLA thrust manipulation) ترسیم شده است.



Notes:

ANS – autonomic nervous system

SNS – sympathetic nervous system

CRH - catecholamine-releasing hormone

HPA - hypothalamic-pituitary-adrenal



شکل ۱-۱. اثرات نوروفیزیولوژیک و نوروشیمیایی منیپولیشن ستون فقرات

اثرات نوروعضلانی (Neuromuscular Effects) در منیپولیشن ستون فقرات

فعال سازی عضلانی (Muscle Activation)

یکی از مهم ترین تئوری هایی که در مورد مکانیسم منیپولیشن ستون فقرات (spinal manipulation) مطرح شده، اثر بازتابی عضلات (muscular reflexogenic effect) است. عضلات بدن انسان از طریق قوس های رفلکس (reflex arcs) واکنش هایی برای محافظت از خود در برابر نیروهای بالقوه مضر دارند (Evans, ۲۰۰۲). بنابراین، زمانی که نیروی آسیب رسان به مفاصل وارد می شود، عضلات با ایجاد همکاری مثبت بین مهارکننده های اکتیو (active muscular restraints) و منفعل (passive) (capsuloligamentous restraints) پاسخ می دهند (Solomonow et al., ۱۹۹۸). این اثر رفلکسوژنیک (reflexogenic effect) فرض می کند که عاملی است برای کاهش درد، بهبود هایپرتونیسیته عضلانی (muscle hypertonicity) و عملکرد عضله (Potter, functional ability) (McCarthy and Oldham, ۲۰۰۵).

مدهاست فرض بر این بوده که منیپولیشن ستون فقرات از طریق مسیرهای رفلکس (reflex pathways) موجب تحریک عضلات شده و موجب بهبود یا مهار فعالیت عضلانی می‌شود (Wyke, ۱۹۷۹). شواهد تجربی متعددی وجود دارد که منیپولیشن باعث ایجاد پاسخ رفلکسی در عضلات ناحیه مفصل و حتی عضلاتی با فاصله از مفصل درمان شده می‌شود (Herzog et al., ۱۹۹۳; Herzog, Scheele and Conway, ۱۹۹۹; Symons et al., ۲۰۰۰; Suter et al., ۲۰۰۵). همچنین مطالعه‌ای توسط Colloca and Keller (۲۰۰۱) نشان داد که پاسخ الکترومایوگرافیک (EMG reflex response) به منیپولیشن در بیماران کمردرد (LBP) بیشتر در افرادی است که علائم درد بیشتر یا مداوم‌تری داشتند.

انتظار می‌رود منیپولیشن ستون فقرات چرخه درد-اسپاسم-درد (pain-spasm-pain cycle) را از طریق کاهش فعالیت عضلانی و از راه مسیرهای رفلکس اختلال ایجاد کند. پیکار (Pickar, ۲۰۰۲) معتقد است که تحریک مکانیکی (mechanical stimulus) در طول منیپولیشن احتمالاً گیرنده‌های حسی (sensory receptors) را تحت تأثیر قرار می‌دهد تا باعث مهار عضلانی شود. هرزوغ (Herzog, ۲۰۰۰) دو مسیر رفلکس مستقل برای پاسخ نوروموسکولار (neuromuscular response) مطرح می‌کند: مسیر مکانورسپتور کپسولی (capsular mechanoreceptor pathway) و مسیر دوک عضلانی (muscle spindle pathway)، که از لحاظ تأخیر (delay) در شروع فعالیت عضلانی تمایز دارند.

تحلیل سیگنال‌های الکترومایوگرافی (EMG Signal Analysis)

تقریباً تمامی مطالعات، تغییرات در دامنه (amplitude) و زمان‌بندی (timing) سیگنال EMG را برای سنجش اثر منیپولیشن بر فعالیت عضلانی به کار می‌برند (Currie et al., ۲۰۱۶). برخی مطالعات افزایش و برخی کاهش دامنه EMG را گزارش کرده‌اند (Bicalho et al., ۲۰۱۰; Ferreira, Ferreira and Lehman, ۲۰۱۲; Lehman and McGill, ۲۰۰۱). اما بیشتر نویسندگان (از جمله Lehman and McGill, ۲۰۰۱) کاهش فعالیت عضلات پاراسپینال (paraspinal muscle) را در حالت استراحت پس از منیپولیشن گزارش کرده‌اند. در شرایط دینامیک (dynamic conditions) مانند فلکشن یا اکستنشن (flexion, extension) نتایج ضد و نقیض بوده است، اما بیشتر مطالعات با کیفیت، کاهش دامنه فعالیت عضلات پاراسپینال را گزارش داده‌اند (Lehman, ۲۰۱۲). حجم کاهش دامنه EMG می‌تواند مؤید این نکته باشد که منیپولیشن ممکن است مدل درد-اسپاسم-درد (pain-spasm-pain model) را مختل کند.

تأخیر شروع فعالیت عضلانی (Muscle Activity Onset Delay) نیز به عنوان یکی از پارامترهای رفلکسی پاسخ به منیپولیشن اندازه‌گیری می‌شود و بین ۱ تا ۴۰۰ میلی‌ثانیه گزارش شده است (Colloca, Keller and Gunzburg, ۲۰۰۳; Currie et al., ۲۰۱۶; Keller, Colloca and Gunzburg, ۲۰۰۳). از آنجاکه پاسخ رفلکسی نخاعی (spinal reflex response) حدود ۱۲۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد (Wilder et al., ۱۹۹۶) احتمال دخالت این مسیر زیاد است. Currie et al. (۲۰۱۶) تفاوت قابل توجه ۵ میلی‌ثانیه‌ای در تأخیر بین افراد سالم و بیماران علامت‌دار (LBP) نشان دادند، به طوری که تأخیر در گروه

LBP بیشتر بود، و این امر احتمالاً به این دلیل است که در بیماران مشارکت مسیر مکانورسپتور کپسولی (capsular mechanoreceptor pathway) بیشتر از مسیر دوک عضلانی است که سرعت بیشتری دارد (Herzog, ۲۰۰۰).

مدولاسیون فعالیت نورون های حرکتی گاما (Modulation of Gamma Motor Neuron Activity)

تئوری مشهور بخش تسهیل شده کور (Korr's [۱۹۷۵] facilitated segment theory) بیان می‌دارد که افزایش فعالیت نورون حرکتی گاما (gamma motor neuron) موجب افزایش تون عضلانی (muscle hypertonicity) می‌شود. منیپولیشن با افزایش تحرک مفصلی (joint mobility) و تحریک ایмпالس های پراپریوسپتیو (proprioceptive impulses) می‌تواند این فعالیت را آرام کرده و نورون های گامای برانگیخته (excited gamma motor neurons) را سرکوب کند. با وجود اینکه مسیر عصبی مشخص آن هنوز اثبات نشده، اما مطالعات جدیدتر حاکی از نقش برجسته دوک های عضلانی (muscle spindles) و افرنت های حسی (afferent fibers) هستند.

یوهانسون و سویکا (Sojka, ۱۹۹۱ & Johansson) نیز معتقدند این مسیر مبتنی بر رفلکس کششی (stretch reflex) هایپراکتیو است که توسط دوک های عضلانی و فیبرهای Ia فعال می‌شود. عصب های آوران دردزا (nociceptive afferents) به طور مستقیم بر نورون های گاما تأثیر می‌گذارند و از طریق افزایش خروجی دوک عضلانی (muscle spindle output) سبب هایپراکتیویتی نورون های حرکتی آلفا (alpha motor neuron hyperactivity) و در نتیجه افزایش تون عضلانی می‌شوند. مطالعاتی نیز گزارش داده‌اند که حساسیت دوک عضلانی (muscle spindle sensitivity) در افراد با کمردرد (LBP) تغییر نمی‌کند. با این حال، Clark et al. (۲۰۱۱) نشان دادند که منیپولیشن ستون فقرات همراه با صدای کاویتاسیون (cavitation sound) باعث تضعیف رفلکس کششی عضله erector spinae می‌شود که این می‌تواند نشان دهنده کاهش خروجی دوک عضلانی باشد. Fryer and Pearce (۲۰۱۲) نیز در افراد سالم نشان دادند که منیپولیشن HVLT با کاویتاسیون منجر به کاهش تحریک پذیری کورتیکواسپاینال (corticospinal excitability) و رفلکس نخاعی می‌شود و این کاهش ها ممکن است تغییراتی در استراتژی های برنامه ریزی موتور به همراه داشته باشند.

در مجموع، افزایش بهره رفلکس کششی (increased stretch reflex gain) مبنای یکی از مسیرهای عصبی چرخه درد-اسپاسم-درد است؛ بنابراین، منیپولیشن ممکن است از طریق تضعیف هایپراکتیویتی رفلکس کششی (hyperactive stretch reflex) و کاهش هایپراکتیویتی نورون های گاما (gamma motor neuron hyperactivity) عمل کند.

تعدیل فعالیت نورون‌های حرکتی آلفا (Modulation of alpha motor neuron activity)

مشارکت نورون‌های حرکتی آلفا (alpha motor neurons) در تعدیل درد عضلانی-اسکلتی (musculoskeletal pain) توسط دو تئوری برجسته درد پیشنهاد شده است: (۱) چرخه درد-اسپاسم-درد (pain-spasm-pain cycle) (Cooperstein, Young and Haneline ۲۰۱۳) و (۲) مدل تطبیق درد (pain-adaptation model) (Lund et al. ۱۹۹۱). مدل درد-اسپاسم-درد دو مسیر عصبی متمایز را که به درد کمک می‌کنند، پیشنهاد می‌کند. با این حال، هر دو تئوری یک مبنای مشترک دارند: اینکه هایپراکساتیبلیتی استخر نورون حرکتی آلفا (hyperexcitability of the alpha motor neuron pool) منجر به افزایش فعالیت عضلانی می‌شود. یکی از مسیرهای عصبی در بالا توضیح داده شده است (نگاه کنید به 'تعدیل فعالیت نورون حرکتی گاما'). مسیر دیگر شامل پروژکشن‌های نوسیسپتورها (nociceptors) بر روی نورون‌های حرکتی آلفا از طریق اینترنورون‌های تحریکی (excitatory interneurons) است. از سوی دیگر، مدل تطبیق درد فرض می‌کند که درد فعالیت عضلانی را زمانی که عضله به عنوان آنتاگونیست (antagonist) عمل می‌کند افزایش می‌دهد و زمانی که به عنوان آگونیست (agonist) فعال است آن را کاهش می‌دهد. مسیر عصبی پیشنهادی برای این مدل شامل بازخورد افرت‌های نوسیسپتو (nociceptive afferents) است که از طریق اینترنورون‌های تحریکی و مهار (excitatory and inhibitory interneurons) بر روی نورون‌های حرکتی آلفا پروژکت می‌شوند. تصور می‌شود سیستم عصبی مرکزی (CNS) عملکرد این اینترنورون‌ها را کنترل کرده و فرمان حرکتی اینکه آیا استخر نورون حرکتی آلفا را تحریک یا مهار کند فراهم می‌کند (van Dieën et al. ۲۰۰۳). به طور خلاصه، صرف نظر از مسیرهای عصبی دقیق، می‌توان گفت که تحریک‌پذیری نورون حرکتی آلفا (alpha motor neuron excitability) مبنایی را در مکانیسم درد عضلانی-اسکلتی تشکیل می‌دهد، زیرا تعدیل نورون‌های حرکتی آلفا با تغییرات در فعال‌سازی عضلانی (muscle activation) همبستگی دارد.

تصور می‌شود که منیپولیشن ستون فقرات عضله هایپرتونیک (hypertonic muscle) را از طریق تعدیل فعالیت نورون حرکتی آلفا آرام یا نرمال می‌کند. با این حال، اثر(های) دقیق منیپولیشن بر نورون‌های حرکتی هنوز ناشناخته است. همان‌طور که در بالا توضیح داده شد (نگاه کنید به 'فعال‌سازی عضلانی')، بیشتر مطالعات EMG با کیفیت بالاتر که تا به امروز انجام شده، تضعیف قابل توجهی از فعالیت عضلانی پس از منیپولیشن در طول خم شدن به جلو یا دراز کشیدن در وضعیت پرون (forward bend or lying prone position) نشان دادند (Lehman ۲۰۱۲). در مطالعه اخیری بر روی بیماران LBP، پس از مشاهده کاهش فعالیت عضلانی EMG در طول فاز فلکشن-ریلکسیشن (flexion-relaxation phase)، Bicalho et al. (۲۰۱۰) پیشنهاد کردند که چنین کاهش‌هایی در دامنه EMG ممکن است به دلیل دو سناریوی مختلف باشد: (۱) هایپراکساتیبلیتی استخر نورون حرکتی آلفا پس از منیپولیشن ستون فقرات کاهش یافته، یا (۲) منیپولیشن مهار واحد حرکتی آلفا (inhibition of the alpha motor unit) را افزایش داده است. با

این وجود، ارتباط بالینی تغییرات دامنه EMG بر استخر نورون حرکتی نامشخص است، زیرا تغییرات فعالیت عضلانی EMG ماهیت گذرا (transient in nature) داشتند و چندین مطالعه نتایج متناقض گزارش کرده‌اند.

دو تکنیک تجربی که برای اندازه‌گیری مؤثر فعالیت نورون حرکتی پس از تحریک مکانیکی (mechanical stimulation) استفاده شده‌اند شامل H-reflex و تحریک مغناطیسی فراجمجمه‌ای (transcranial magnetic stimulation - TMS) هستند. تکنیک H-reflex مسیرهای رفلکس نخاعی (spinal reflex pathways) را که بر روی عضله هدف پروژکت می‌شوند ارزیابی کرده و دوک عضلانی (spindle) را دور می‌زند. این تکنیک تخمینی از تغییرات تحریک‌پذیری نورون حرکتی آلفا پس از منیپولیشن ستون فقرات را نشان می‌دهد (Burke ۲۰۱۶). در مقابل، تکنیک TMS از میدان‌های مغناطیسی متغیر برای اندازه‌گیری تحریک‌پذیری دستگاه کورتیکواسپینال (corticospinal tract excitability) بین قشر حرکتی (motor cortex) و عضله هدف استفاده کرده و پتانسیل برانگیخته حرکتی (motor-evoked potential - MEP) را ایجاد می‌کند. این تکنیک تغییرات در تحریک‌پذیری قشر حرکتی پس از منیپولیشن را نشان می‌دهد (Klomjai, Katz and Lackmy-Vallée ۲۰۱۵).

مجموعه‌ای از مطالعات انجام شده توسط Dishman و همکاران (Dishman and Bulbulian ۲۰۰۰, Dishman and Burke ۲۰۰۳; Dishman, Cunningham and Burke ۲۰۰۲; Dishman, Dougherty and Burke ۲۰۰۵) به طور مداوم تضعیف قابل توجه اما موقت تحریک‌پذیری نورون حرکتی آلفا پس از منیپولیشن ستون فقرات با استفاده از H-reflexes را گزارش کرده است. یکی از کمبودهای عمده این مطالعات این بود که فاقد گروه کنترل بدون مداخله (no intervention control group) بودند. این یافته‌ها، با این حال، توسط Suter, McMorland and Herzog (۲۰۰۵) که پس از عدم مشاهده تغییر در H-reflexes در یک زیرگروه، استدلال کردند که کاهش در H-reflex می‌تواند به دلیل آرتیفکت حرکتی (movement artifact) در طول منیپولیشن باشد، متضاد بودند. در مقابل، با طراحی متقابل تصادفی کنترل‌شده (randomised controlled crossover design) Fryer and Pearce (۲۰۱۲) یافته‌های Dishman و همکاران را حمایت کردند اما نتیجه‌گیری Suter et al (۲۰۰۵) را مخالفت کردند. آنها گزارش کردند که مهار H-reflexes با آرتیفکت حرکتی مرتبط نبود زیرا گروه کنترل که تحت همان تغییر موقعیت گروه مداخله قرار گرفت تغییرات قابل توجهی نشان نداد. اخیراً، در مطالعه مقطعی (cross-sectional study) که شامل داوطلبان سالم بدون علامت (asymptomatic healthy volunteers) و بیماران LBP تحت حاد (subacute LBP patients) بود، Dishman, Burke and Dougherty (۲۰۱۸) سرکوب مسیر افرنت لا-نورون حرکتی آلفا (la afferent-alpha motor neuron pathway) و تضعیف معتبر و قابل اعتماد نسبت Hmax/Mmax پس از منیپولیشن ستون فقرات را گزارش کردند، که فراتر از آرتیفکت‌های حرکتی یا

موقعیتی بود. این یافته تفاوت فیزیولوژیک کاملاً معناداری را ارائه داده و شواهد قانع‌کننده‌ای را به حمایت از تصور دیرینه که منیپولیشن HVLTAT تحریک‌پذیری استخر نورون حرکتی آلفا را مهار می‌کند، فراهم می‌کند. از سال ۲۰۰۰، تغییرات در MEPS پس از منیپولیشن ستون فقرات تنها توسط تعداد کمی از محققان بررسی شده و آنها نتایج متناقض گزارش کرده‌اند. در حالی که Dishman et al. (Dishman, Ball and Burke ۲۰۰۲; Dishman, Greco and Burke ۲۰۰۸) افزایش گذرا اما قابل توجه در MEPS در مقایسه با خط پایه (baseline) پس از منیپولیشن گزارش کردند، Clark et al. (۲۰۱۱) کاهش جزئی اما بدون تغییر قابل توجه در دامنه MEP عضله erector spinae یافتند. در مقابل، Fryer and Pearce (۲۰۱۲) کاهش قابل توجهی در دامنه‌های MEP پس از منیپولیشن مشاهده کردند. با این حال، باید توجه کرد که Fryer and Pearce از پروتکل تعیین‌شده‌ای برای اندازه‌گیری MEPS پیروی کردند و دامنه‌ها را تقریباً ۱۰ دقیقه پس از مداخله ثبت کردند، و بنابراین حدس زدند که تسهیل گذرای MEPS (transient facilitation of MEPS) ممکن است در ابتدا رخ داده باشد. از سوی دیگر، Dishman et al. مشاهده کردند که تغییرات در ۳۰-۶۰ ثانیه پس از منیپولیشن به خط پایه بازگشتند. با این وجود، چنین داده‌های متناقض به وضوح نشان نمی‌دهند که منیپولیشن ستون فقرات تحریک‌پذیری دستگاه کورتیکواسپینال را تغییر می‌دهد.

در مجموع، اگرچه گزارش شده که منیپولیشن ستون فقرات منجر به کاهش قابل توجه در H-reflexes و دامنه‌های EMG می‌شود، ارتباط بالینی چنین تغییرات کوتاه‌مدت (short-lived changes) بر استخر نورون حرکتی در مکانیسم‌هایی که زیربنای اثربخشی منیپولیشن ستون فقرات هستند هنوز حدسی (speculative) است و نیاز به تعیین دارد.

پاسخ‌های خودکار (Autonomic responses)

سیستم عصبی خودکار (autonomic nervous system - ANS) عمدتاً به طور ناخودآگاه عمل کرده و پاسخ‌های غیرارادی را برای حفظ محیط داخلی بدن کنترل می‌کند. این سیستم چندین فرآیند بدن (مثل ضربان قلب، نرخ تنفسی، ترشح عرق و بزاق، فشار خون و پاسخ مردمکی) را تنظیم کرده و اندام‌های داخلی مختلفی که عضله صاف دارند (مثل قلب، ریه‌ها، مردمک‌ها، غدد بزاقی، کبد، کلیه‌ها، مثانه و غدد هاضمه) را تأمین می‌کند. این سیستم از بخش هیپوتالاموس مغز تنظیم شده و همچنین مکانیسم‌های زیربنایی در طول پاسخ مبارزه یا فرار (fight-or-flight response) را کنترل می‌کند (Cannon ۱۹۱۵). همچنین تعامل بالقوه‌ای با سیستم نوسیسپتو (درد) در سطوح متعدد دارد که شامل ساقه مغز (brain stem)، مغز پیشین (fore brain)، محیط (periphery) و شاخ پشتی (dorsal horn) می‌شود (Benarroch ۲۰۰۶). از این رو، هر مداخله‌ای که عملکردهای ANS را تحت تأثیر قرار دهد ممکن است پیامدهای قابل توجهی داشته باشد، زیرا این امر ممکن است اطلاعات مکانیستیک مهمی فراهم کرده و حتی روشنایی بر مکانیسم‌های نوروفیزیولوژیک احتمالی آن مداخله بیندازد.

در ادبیات درمان دستی، پاسخ‌های واسطه‌گری خودکار (autonomically mediated responses) پس از منیپولیشن ستون فقرات به خوبی تعیین شده‌اند. طیف متنوعی از معیارهای پیامد برای تعیین فعالیت ANS پس از منیپولیشن استفاده شده است، از جمله شاخص‌های جریان خون پوست (skin blood flow - SBF)، تغییرات فشار خون، رفلکس مردمکی (pupillary reflex) و تنوع ضربان قلب (heart rate variability - HRV). مطالعات انجام شده برای ارزیابی تغییرات کوتاه‌مدت در SBF پس از منیپولیشن اثر سمپاتواکساتیتوری (sympathoexcitatory effect) را پیشنهاد کردند، اگرچه این اثر ممکن است به دلیل نادیده گیری مکانیسم‌های اندوتلیال محلی (local endothelial mechanisms) که SBF را تنظیم می‌کنند به چالش کشیده شود (Zegarrra-Parodi et al. ۲۰۱۵). مقایسه تغییرات فشار خون قبل و بعد از منیپولیشن مشارکت ANS را نشان داده است (Win et al. ۲۰۰۸; Welch and Boone ۲۰۱۵). رفلکس مردمکی نیز به عنوان شاخصی از فعالیت ANS گزارش شده است (Sillevis et al. ۲۰۱۰). HRV نشانگر تعیین شده دیگر فعالیت عصبی خودکار قلبی است و منعکس کننده اینک آیا شاخه‌های سمپاتیک یا پاراسمپاتیک ANS تحت تأثیر قرار می‌گیرند (Win et al. ۲۰۱۵). بنابراین، فرض شده که اثرات منیپولیشن ستون فقرات بر ANS ممکن است منجر به بی‌دردی مستقل از اپیوئید (opioid-independent analgesia) شده و خروجی‌های عصبی رفلکس را در سطوح بخشی و فرابخشی (segmental and extrasegmental levels) تحت تأثیر قرار دهد (Sampath et al. ۲۰۱۵).

اهمیت تغییرات ANS پس از منیپولیشن (Significance of ANS changes following manipulation)

از لحاظ آناتومیکی، دو بخش مکمل ANS شامل سیستم عصبی سمپاتیک (sympathetic nervous system - SNS) و سیستم عصبی پاراسمپاتیک (parasympathetic nervous system - PNS) هستند. تعامل بین هر دو این سیستم‌ها تأثیر بر پاسخ استرس بافت‌ها (stress response of tissues) را دارد (Cramer and Darby ۲۰۱۳). SNS نقش فعالی در واسطه‌گری پاسخ مبارزه یا فرار (fight-or-flight response) ایفا کرده و به عنوان واسطه‌ای برای ارتباط وایبر (efferent communication) بین سیستم ایمنی و سیستم عصبی مرکزی عمل می‌کند. این سیستم کاتکولامین (catecholamine) به عنوان محصول نهایی آزاد کرده که چندین پارامتر ایمنی را در طول التهاب حاد و مزمن تعدیل می‌کند (Elenkov et al. ۲۰۰۰; Pongratz and Straub ۲۰۱۴). نقش واسطه‌گری SNS بین فرآیندهای سوماتیک و حمایتی (somatic and supportive processes) در کار پیشگام Korr نشان داده شده است (Korr ۲۰۱۲). علاوه بر این، همچنین یافت شده که ناهنجاری‌های عضلانی-اسکلتی با تغییرات در الگوهای پوستی فعالیت سمپاتیک (cutaneous patterns of sympathetic activity) همراه هستند (Korr, Wright and Thomas ۱۹۶۲). در ادبیات درمان دستی، این اثر تعدیل کننده SNS بر التهاب مورد توجه ویژه‌ای بوده، زیرا ممکن است برخی از اثرات نوروفیزیولوژیک مشاهده شده پس از منیپولیشن ستون فقرات را توضیح دهد. بنابراین، در مکانیسم‌های فیزیولوژیک پیشنهادی منیپولیشن

ستون فقرات، نقش برجسته‌ای از سیستم عصبی سمپاتیک محیطی (peripheral sympathetic nervous system - PSNS) در تعدیل درد و التهاب توسط هم Pickar (۲۰۰۲) و هم Bialosky et al. (۲۰۰۹) تئوری شده است.

تعداد زیادی از مطالعات از سال ۲۰۰۰ تأثیرات منیپولیشن ستون فقرات بر تغییرات SNS را بررسی کرده‌اند. در حالی که برخی مطالعات فعال‌سازی فوری SNS پس از منیپولیشن ستون فقرات را گزارش کرده‌اند (Budgell et al. ۲۰۱۵; Zegarra-Parodi et al. ۲۰۱۵; Win et al. ۲۰۰۸; Welch and Boone ۲۰۰۶; Giles et al. ۲۰۱۳; Sillevius et al. ۲۰۱۰; Ward et al. ۲۰۱۳; Younes et al. ۲۰۱۷; Zhang et al. ۲۰۰۶). Welch and Boone (۲۰۰۸) پیشنهاد کردند که پاسخ‌های اتونومیک مشاهده شده پس از منیپولیشن ممکن است بر اساس بخش(های) خاص ستون فقرات که منیپولیشن شده‌اند متفاوت باشد. نویسندگان نتیجه گرفتند که پاسخ‌های سمپاتیک احتمالاً از منیپولیشن توراسیک/لومبار (thoracic/lumbar manipulation) برانگیخته می‌شوند در حالی که پاسخ‌های پاراسمپاتیک ممکن است از منیپولیشن ستون فقرات گردنی حاصل شوند. چندین مطالعه این فرضیه را تا حدی حمایت کرده‌اند (Budgell and Polus ۲۰۰۶; Giles et al. ۲۰۱۳; Win et al. ۲۰۱۵). با این حال، یافته‌های مخالف نیز گزارش شده‌اند. پس از اندازه‌گیری HRV در افراد سالم بدون علامت در دو نقطه زمانی جداگانه، Zhang et al (۲۰۰۶) غالبیت PNS پس از منیپولیشن توراسیک را گزارش کردند. اخیراً، با استفاده از هم HRV و هم حساسیت بارورفلکس (baroreflex sensitivity)، مطالعه دیگری (Ward et al. ۲۰۱۳) که بر روی بیماران درد حاد کمر انجام شد نیز کنترل اتونومیک پاراسمپاتیک افزایش یافته پس از منیپولیشن لومبار را نشان داد.

با این حال، تفاوت‌های روش‌شناختی بین این مطالعات وجود داشت و هیچ تکنیک استاندارد طلایی برای اندازه‌گیری تغییرات SNS استفاده نشد. علاوه بر این، تفاوت‌ها در یافته‌ها تا حدی به نوع معیار پیامد استفاده شده وابسته بود. به نظر می‌رسد که نتایج متضاد عمدتاً از مطالعاتی (Budgell and Polus ۲۰۰۶; Giles et al. ۲۰۱۳; Welch and Boone ۲۰۰۸; Ward et al. ۲۰۱۳; Win et al. ۲۰۱۵; Younes et al. ۲۰۰۶; Zhang et al. ۲۰۱۷) که از تجزیه و تحلیل HRV به عنوان وسیله‌ای برای تعیین ماهیت پاسخ‌های اتونومیک پس از منیپولیشن استفاده کردند، حاصل شدند. یافته‌های این مطالعات به نفع SNS یا PNS بودند. از سوی دیگر، یک مرور سیستماتیک اخیر بر روی تغییرات SBF پس از منیپولیشن حضور یک پاسخ سمپاتواکساتیتوری کوتاه‌مدت (short-term sympathetoexcitatory response) را گزارش کرده است (Zegarra-Parodi et al. ۲۰۱۵).

یک دلیل احتمالی برای چنین تفاوت‌هایی ممکن است استفاده از نسبت فرکانس پایین (low frequency LF -) /فرکانس بالا (high frequency - HF) به عنوان نشانگر فعالیت ANS باشد، جایی که فعالیت وابر PNS را نشان می‌دهد و LF هم به فعالیت وابر PNS و هم SNS مربوط است. این روش ارزیابی HRV به دلیل ساده‌سازی بیش از حد تعاملات پیچیده غیرخطی بین SNS و PNS مورد انتقاد قرار گرفته است

(Billman ۲۰۱۳). اخیراً، Sampath et al (۲۰۱۷) با استفاده از یک معیار قابل اعتماد (طیف‌سنجی مادون قرمز نزدیک - near-infrared spectroscopy) برای ارزیابی فعالیت SNS، تحریک سمپاتیک فوری پس از منیپولیشن توراسیک را گزارش کردند. جالب اینکه، این مطالعه همچنین داده‌های HRV قبل و بعد از منیپولیشن را بررسی کرد اما تفاوت آماری معناداری بین گروه‌ها نیافت. با این وجود، یافته‌های این مطالعه باید با احتیاط تفسیر شوند، زیرا بر اساس افراد مذکر بدون علامت بود و گزارشی از نارسایی تنظیم ANS (ANS dysregulation) در بیماران درد مزمن وجود دارد. بنابراین، پژوهش بیشتر بر روی جمعیت علامت‌دار ضروری است.

اثرات تغییرات اتونومیک ناشی از منیپولیشن بر مکانیسم‌های فوق‌نخاعی (Effects of manipulation-induced autonomic changes on supraspinal mechanisms)

همان‌طور که در بالا بحث شد، تعامل پیچیده‌ای بین ANS و سیستم درد وجود دارد و PSNS نقش مهمی در تعدیل درد و التهاب ایفا می‌کند. بنابراین، با در نظر گیری شواهد پاسخ‌های سمپاتواکسایتوری فوری پس از منیپولیشن، Sampath et al (۲۰۱۵) پیشنهاد کردند که این تغییرات SNS ممکن است با تغییرات در مکانیسم‌های فوق‌نخاعی تعدیل‌کننده درد (pain-modulating supraspinal mechanisms) مرتبط باشند. به حمایت از این فرضیه، نویسندگان دو مطالعه تصویربرداری (Ogura et al. ۲۰۱۱; Sparks et al. ۲۰۱۳) را ذکر کردند که تأثیرات منیپولیشن بر چندین ساختار فوق‌نخاعی از جمله ورمیس مخچه‌ای (cerebellar vermis)، شکنج گیجگاهی میانی (middle temporal gyrus)، قشر جزیره‌ای (insular cortex)، قشر جلویی پیشانی تحتانی (inferior prefrontal cortex) و قشر سینگولیت قدامی (anterior cingulate cortex) را نشان دادند. گزارش شده که همه این ساختارها در تنظیم عملکرد اتونومیک دخیل هستند (Kenney and Ganta ۲۰۱۱). از سوی دیگر، مجموعه‌ای از شواهد رو به رشد به حمایت از تغییرات پلاستیک عصبی ناشی از منیپولیشن (manipulation-induced neural plastic changes) (Daligadu et al. ۲۰۱۳; Lelic et al. ۲۰۱۶; Taylor and Murphy ۲۰۱۰) که در ساختارهای مختلف مغز مانند مخچه (cerebellum)، عقده‌های پایه (basal ganglia)، قشر پیش‌پیشانی (prefrontal cortex)، قشر حسی اولیه (primary sensory cortex) و قشر حرکتی اولیه (primary motor cortex) رخ می‌دهند، وجود دارد. در مجموع، اگرچه شواهد مستقیمی به حمایت از فرضیه Sampath et al (۲۰۱۵) وجود ندارد، این ممکن است حوزه پر بار پژوهشی برای مطالعات آینده باشد.

فعال‌سازی همزمان سیستم نورواندوکراین (Co-activation of the neuroendocrine system)

ناحیه هیپوتالاموس به خاطر هماهنگ کردن پاسخ‌های استرس از طریق فعال‌سازی محور هیپوتالامیک-هیپوفیز (hypothalamic-pituitary - HP) و مسیر عصبی درگیر PSNS شناخته شده است. محور هیپوتالامیک-هیپوفیز-آدرنال (hypothalamic-pituitary-adrenal - HPA) به عنوان سیستم

مرکزی پاسخ استرس در نظر گرفته شده و شناخته شده است که گلوکوکورتیکوئید آدرنال (cortisol) آزاد می‌کند که کلاسی از کورتیکواستروئیدها هستند که در ادبیات به خاطر اعمال ضدالتهابی و سرکوب‌کننده ایمنی خود به خوبی شناخته شده‌اند (Ulrich-Lai and Herman ۲۰۰۹). از سوی دیگر، همان‌طور که در بالا بحث شد، گزارش شده که SNS به عنوان واسطه‌ای بین فرآیندهای سوماتیک و حمایتی عمل می‌کند. بنابراین، به خوبی ثابت شده که هم SNS و هم محور HPA می‌توانند نقش مهمی در تعدیل التهاب حاد و مزمن ایفا کنند و مکانیسم‌های نورواندوکراین (SNS-HPA axis) در فرآیندهای تسکین درد و بهبود بافت دخیل هستند (۲۰۰۹; Ulrich-Lai and Herman ۲۰۰۹; Chrousos). گزارش شده که این دو سیستم همچنین با هم کار کرده و مدارات عصبی زیربنایی (underlying neural circuitry) را هم‌پوشانی می‌دهند (Chrousos ۲۰۰۹). علاوه بر این، شواهد نشان می‌دهد که منیپولیشن ستون فقرات می‌تواند فعالیت هم SNS و هم محور HPA را تحت تأثیر قرار دهد. چندین مطالعه اثر منیپولیشن ستون فقرات بر محور HPA را ارزیابی کرده‌اند و افزایش فوری سطوح کورتیزول سرم پس از منیپولیشن در هم بیماران علامت‌دار و هم بدون علامت مشاهده شده است (۲۰۱۴; Plaza-Manzano et al. ۲۰۱۰; Padayachy et al.).

با در نظر گیری حقایق فوق، Sampath et al. (۲۰۱۵) فرضیه کردند که می‌تواند ارتباطی بین تغییرات SNS و پاسخ‌های محور HPA وجود داشته باشد و تغییرات پس از منیپولیشن در SNS ممکن است همراه با تغییرات محور HPA باشد. نویسندگان مسیرهای رفلکس عصبی احتمالی را به حمایت از این فرضیه پیشنهاد کردند. آنها پیشنهاد کردند که HVLTAT در بخش توراکولومبار ستون فقرات منجر به تحریک سلول‌های سمپاتیک پیش‌گانگلیونی (preganglionic sympathetic cells) و تحریک متعاقب مکانورسپتورها می‌شود. این ورودی‌ها سپس به چندین ناحیه از ساقه مغز سفر کرده و متعاقباً منجر به بی‌دردی مستقل از اپیوئید از طریق تأثیر بر هیپوتالاموس و ماده PAG (periaqueductal grey) در میان مغز می‌شوند. سپس آزادسازی هیپوتالامیک فاکتور آزادکننده کورتیکوتروپین (corticotropin-releasing factor) (CRF) - برای تعدیل پاسخ SNS و محور HPA اتفاق می‌افتد. سیستم نورواندوکراین (SNS-HPA axis) سپس محصولات نهایی خود (کاتکولامین‌ها و گلوکوکورتیکوئیدها) را آزاد کرده تا اعمال ضدالتهابی و بهبود بافت را آغاز کند. با این حال، تا به امروز، تنها یک مطالعه (Sampath et al. ۲۰۱۷) برای بررسی پاسخ SNS-HPA axis به منیپولیشن در همان کارآزمایی انجام شده است. اگرچه این مطالعه کاهش سطح کورتیزول بزاق بلافاصله پس از منیپولیشن توراسیک را گزارش کرد و اثر فوری منیپولیشن بر SNS را مشاهده کرد، ارتباط بالینی چنین تغییراتی تا کنون ناشناخته است. بنابراین، پژوهش بیشتر برای تعیین اهمیت بالینی واقعی پاسخ نورواندوکراین پس از منیپولیشن مورد نیاز است.

اثرات هیپوالژزیک (Hypoalgesic effects)

تصور می‌شود که چهار نوع مکانیسم به اثرات هیپوالژزیک منیپولیشن ستون فقرات کمک می‌کنند.

مهار بخشی (Segmental inhibition)

مفهوم این مکانیسم بر اساس تئوری کنترل دروازه‌ای درد Melzack و Wall (۱۹۶۵) استوار است. این تئوری پیشنهاد می‌کند که فیبرهای حسی نوسیسپتو (قطر کوچک) $A-\delta$ و C محرک‌های درد را به شاخ پشتی حمل کرده و لایه ژلاتینوزا را "باز" می‌کنند، در حالی که فیبرهای غیرنوسیسپتو (قطر بزرگ) $A-\beta$ انتقال سیگنال‌های درد را با مسدود کردن ورود فیبرهای $A-\delta$ و C مهار می‌کنند. از آنجا که محرک مکانیکی اعمال شده در طول منیپولیشن ستون فقرات ممکن است ورودی حسی محیطی از بافت‌های پاراسپینال را تغییر دهد، فرض شده است که منیپولیشن ممکن است با تحریک فیبرهای $A-\beta$ از دوک‌های عضلانی و مکانورسپتورهای مفصل فاست، بر مکانیسم بسته‌شدن دروازه تأثیر بگذارد (Potter et al. ۲۰۰۵). مرورهای نظام‌مند توسط Millan و همکاران (۲۰۱۲) و Coronado و همکاران (۲۰۱۲)، مطالعاتی را که اثرات هیپوآلژزیک منیپولیشن ستون فقرات بر درد تجربی القایی را بررسی کرده‌اند، به طور انتقادی مرور کرده‌اند. بیشتر مطالعات موجود در این دو مرور، اثر هیپوآلژزیک سگمنتال ناشی از منیپولیشن را مشاهده کردند و پیشنهاد دادند که مسیرهای فوق‌نخاعی نیز ممکن است در این مکانیسم سگمنتال دخیل باشند. بعلاوه، مشارکت مکانیسم سگمنتال در تعدیل ادراک درد همچنین توسط مطالعات متعددی که اثرات عصبی-عضلانی منیپولیشن ستون فقرات را بررسی کرده‌اند، پیشنهاد شده است (بخش "اثرات عصبی-عضلانی" را ببینید). با این حال، هنوز لازم است مشخص شود که آیا اثر هیپوآلژزیک موضعی مشاهده‌شده پس از منیپولیشن صرفاً یک واکنش رفلکسی به وضعیت دردناک موجود است یا ناشی از فعال‌سازی سیستم مهار درد درون‌زاد می‌باشد.

فعال‌سازی مسیرهای نزولی مهار درد

این مکانیسم مبتنی بر اثرات منیپولیشن ستون فقرات بر مدارهای عصبی تعدیل‌کننده درد است. مدت‌هاست که تصور می‌شود منیپولیشن، سیستم هیپوآلژزیک غیر ایپوئیدی را از طریق فعال‌سازی مدارهای نزولی تعدیل درد، به ویژه مسیرهای سروتونین و نورآدرنالین منشأ گرفته از ناحیه PAG و مدولای روسترال و نترومدیا (RVM) ساقه مغز فعال می‌کند (Wright ۱۹۹۵; Vernon ۲۰۰۰; Pickar ۲۰۰۲). این فرضیه هم توسط مدل‌های حیوانی و هم توسط مطالعات انسانی پشتیبانی شده است. در مدل‌های حیوانی (Reed et al. ۲۰۱۴; Song et al. ۲۰۰۶; Skyba et al. ۲۰۰۳)، شواهد عینی برای یک اثر آنتی‌نوسیسپتو مرکزی که به نظر می‌رسد توسط مسیرهای مهار سروتونرژیک و نورآدرنرژیک میانجی‌گری می‌شود، به دست آمده است. یافته‌های مطالعات انسانی (Alonso-Perez et al. ۲۰۱۷; O'Neill, Ødegaard-Olsen and Søvde ۲۰۱۵; Sterling, Jull and Wright ۲۰۰۱) که بر روی افراد علامت‌دار و بدون علامت انجام شده نیز با یافته‌های حیوانی سازگار بود. با این حال، با این که پژوهش‌های انسانی از نوعی اثر هیپوآلژزیک غیر ایپوئیدی ناشی از منیپولیشن از طریق فعال‌سازی نوعی مکانیسم مهار نزولی حمایت می‌کنند، اما مدار دقیق آن هنوز به توافق نرسیده است. از آنجا که پاسخ‌های عصبی پس از منیپولیشن ممکن است بسته به آهنگ (rate) اعمال نیرو و محل وارد شدن ضربه متفاوت باشد (Cambridge et al. ۲۰۱۲; Downie et al. ۲۰۱۰; Nougrou et al. ۲۰۱۶)، فرض شده که تفاوت در پارامترهای مکانیکی منیپولیشن می‌تواند مسیرهای

مهار نزولی متفاوتی را فعال کند (Savva, Giakas and Efstathiou ۲۰۱۴). بنابراین، مطالعات آتی باید به بررسی دقیق مدار تعدیل درد نزولی درگیر پس از منیپولیشن بپردازند و لازم است ویژگی‌های نیرو/زمان و محل تماس مداخله به دقت مدنظر قرار گیرد.

پاسخ‌های مغزی غیر اختصاصی

نمی‌توان نقش متغیرهای غیر اختصاصی همچون انتظار و عوامل روانی-اجتماعی را در مکانیسم‌های منیپولیشن ستون فقرات کاملاً نادیده گرفت (Bialosky et al. ۲۰۰۹). انتظار برای نتایج خوب عملکردی می‌تواند بدون درگیر شدن خود ستون فقرات نیز منجر به کاهش حس درد شود. افزون بر این، یک مرور نظام‌مند نشان داد که منیپولیشن ستون فقرات نسبت به مداخلات کلامی، با پیامدهای روانی بهتری همراه است (Williams et al. ۲۰۰۷). با این حال، مطالعاتی که برای تعیین تأثیر فرآیندهای مغزی غیر اختصاصی بر هیپوآلژزی ناشی از منیپولیشن انجام شده، نشان داده‌اند که منیپولیشن اثرات قوی‌تر و خاص‌تری بر حساسیت درد نسبت به صرف انتظار دریافت مداخله داشته است (Bialosky et al. ۲۰۰۸b, ۲۰۱۴). با این وجود، مطالعات بیشتری مورد نیاز است تا روشن شود که آیا انجام منیپولیشن ستون فقرات همراه با انتظارات مثبت تقویت‌شده می‌تواند اثر افزایشی بر کاهش ادراک درد داشته باشد.

جمع‌شدگی زمانی (Temporal Summation)

اثرات منیپولیشن ستون فقرات بر جمع‌شدگی زمانی درد، یک مدل تجربی دیگر برای توضیح مکانیسم‌های هیپوآلژزی حاصل از منیپولیشن به شمار می‌رود. جمع‌شدگی زمانی به افزایش ادراک درد ناشی از محرک دردناک تکرارشونده با دامنه و بسامد یکسان گفته می‌شود. این پدیده، معادلی روان‌فیزیکی برای تشدید تدریجی وابسته به فرکانس تحریک‌پذیری نورون‌های شاخ پستی (یعنی wind-up است Anderson et al. ۲۰۱۳). Wind-up مدلی جالب برای محققان درمان‌های دستی است، چون پدیده‌ای مرکزی است و توسط مکانیسم‌های محیطی میانجی نمی‌شود (Herrero, Laird and Lopez-Garcia ۲۰۰۰). ورودی ثابت نوسیسپتو به نورون‌های شاخ پستی از طریق جمع‌شدگی زمانی می‌تواند تغییرات رونویسی و ترجمه‌ای مرتبط با فاز کوتاه‌مدت حساس‌سازی مرکزی ایجاد کند (Anderson et al. ۲۰۱۳; Staud et al. ۲۰۰۷).

بنابراین جمع‌شدگی زمانی می‌تواند مکانیسم‌های پردازش مرکزی در شرایط درد مزمن را توصیف کند. مطالعات تجربی اولیه (Bialosky et al. ۲۰۰۸b; George et al. ۲۰۰۶) که با تحریک حرارتی جلد برای بررسی اثرات منیپولیشن کمری انجام شد، کاهش فوری جمع‌شدگی زمانی در نواحی اندام تحتانی را گزارش کردند، اما نه در درماتوم‌های اندام فوقانی. این یافته نشان داد اثرات هیپوآلژزیک مشاهده‌شده پس از منیپولیشن ممکن است از نظر منطقه‌ای یا سگمنتال باشد. برای تأیید این فرضیه، Bishop, Beneciuk and George (۲۰۱۱) مطالعه‌ای انجام دادند تا بررسی کنند آیا منیپولیشن ستون فقرات سینه‌ای باعث کاهش جمع‌شدگی زمانی درد می‌شود یا نه. برخلاف یافته‌های قبلی، آنها دریافتند که جمع‌شدگی زمانی هم در اندام فوقانی و هم تحتانی کاهش یافت که نشان‌دهنده مشارکت هر دوی مکانیسم‌های مهار سگمنتال و نزولی در هیپوآلژزی ناشی از منیپولیشن است. اخیراً، Randoll et al. (۲۰۱۷) با استفاده از تحریک

الکتریکی تکرارشونده، دریافتند که جمع‌شدگی زمانی درد توسط منیپولیشن توراسیک کاهش می‌یابد. نویسندگان شرکت مکانیسم سگمنتال را مورد تأیید قرار دادند و پیشنهاد کردند که گیرنده‌های مکانیکی آستانه بالا، ممکن است مسئول اثر هیپوآلژزیای ناشی از thrustهای HVLA باشند. با این حال، تحقیق بیشتر برای اثبات ارتباط بالینی این یافته‌ها ضروری است.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه، نظریه‌هایی که تاکنون برای توضیح اثرات نوروفیزیولوژیک منیپولیشن ستون فقرات ارائه شده‌اند، مرور شده و مطالعات مکانیستی انجام‌گرفته برای تأیید ارتباط این نظریه‌ها بررسی گردیده‌اند. هنوز مکانیسم(های) دقیق عمل منیپولیشن ستون فقرات به طور کامل شناسایی نشده است. مدل‌های تجربی اجرا شده بر روی انسان و حیوان نشان داده‌اند که تحریک مکانیکی ناشی از منیپولیشن، موجی از پیام‌های عصبی به شاخ پستی نخاع ایجاد می‌کند که مجموعه‌ای از واکنش‌های عصبی را آغاز نموده و تعاملات پیچیده‌ای بین PNS و CNS رقم می‌زند. مشاهده پاسخ‌های نوروفیزیولوژیک پس از منیپولیشن، مکانیسم‌های احتمالی اثرات عصبی-عضلانی، خودکار (اتونوم)، نوروآندوکراین و هیپوآلژزیک را مطرح ساخته است، اما ارتباط این یافته‌ها با اثرات بالینی مشاهده‌شده هنوز روشن نیست. علت این امر آن است که عمده مطالعات مکانیسمی منتشرشده تاکنون عمدتاً تغییرات کوتاه‌مدت یا فوری پس از منیپولیشن را بررسی کرده‌اند. افزون بر این، رابطه دوز-پاسخ مرتبط با اثر عصبی اختصاصی منیپولیشن در متون کنونی غالباً نادیده گرفته شده است. بنابراین، پژوهش‌های آینده که هدف آن‌ها درک مکانیسم‌های عصبی احتمالی منیپولیشن ستون فقرات است باید این دو متغیر (مدت و دوز مداخله) را با دقت مد نظر قرار دهند.

منابع

- Alonso-Perez, J.L., Lopez-Lopez, A., La Touche, R., Lerma-Lara, S., Suarez, E.,
 Rojas, J. *et al.* (۲۰۱۷) 'Hypoalgesic effects of three different manual therapy techniques on cervical spine and psychological interaction: A randomized clinical trial.' *Journal of Bodywork and Movement Therapies* ۲۱(۴), ۷۹۸-۸۰۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۹۰۳۷۶۳.
- Anderson, R.J., Craggs, J.G., Bialosky, J.E., Bishop, M.D., George, S.Z., Staud, R. *et al.* (۲۰۱۳) 'Temporal summation of second pain: Variability in responses to a fixed protocol.' *European Journal of Pain* ۱۷(۱), ۶۷-۷۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۸۹۹۰۴۹
- Benarroch, E.E. (۲۰۰۶) 'Pain-autonomic interactions.' *Neurological Sciences* ۲۷(Suppl. ۲), S۱۳۰-S۱۳۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۶۸۸۶۱۶
- Bialosky, J.E., George, S.Z. and Bishop, M.D. (۲۰۰۸a) 'How spinal manipulative therapy works: Why ask why?' *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* ۳۸(۶), ۲۹۳-۲۹۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۵۱۰۹۶۴
- Bialosky, J.E., Bishop, M.D., Price, D.D., Robinson, M.E. and George, S.Z. (۲۰۰۹) 'The mechanisms of manual therapy in the treatment of musculoskeletal pain: A comprehensive model.' *Manual Therapy* ۱۴(۵), ۵۳۱-۵۳۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۹۰۲۷۳۴۲
- Bialosky, J.E., Bishop, M.D., Robinson, M.E., Barabas, J.A. and George, S.Z. (۲۰۰۸b) 'The influence of expectation on spinal manipulation induced hypoalgesia: An experimental study in normal subjects.' *BMC Musculoskeletal Disorders* ۹(۱), ۱۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۲۶۷۰۲۹
- Bialosky, J.E., George, S.Z., Horn, M.E., Price, D.D., Staud, R. and Robinson, M.E. (۲۰۱۴) 'Spinal manipulative therapy - Specific changes in pain sensitivity in individuals with low back pain (NCT۰۱۱۶۸۹۹۹).' *The Journal of Pain* ۱۴(۲), ۱۳۶-۱۴۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۳۶۱۱۰۹
- Bicalho, E., Setti, J.A., Macagnan, J., Cano, J.L. and Manffra, E.F. (۲۰۱۰) 'Immediate effects of a high-velocity spine manipulation in paraspinal muscles activity of nonspecific chronic low-back pain subjects.' *Manual Therapy* ۱۴(۵), ۴۶۹-۴۷۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۰۴۴۷۸۵۷

- Billman, G.E. (۲۰۱۳) 'The effect of heart rate on the heart rate variability response to autonomic interventions.' *Frontiers in Physiology* ۴, ۲۲۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۳۹۸۶۷۱۶
- Birznieks, I., Burton, A.R. and Macefield, V.G. (۲۰۰۸) 'The effects of experimental muscle and skin pain on the static stretch sensitivity of human muscle spindles in relaxed leg muscles.' *Journal of Physiology* ۵۸۶(۱۱), ۲۷۱۳-۲۷۲۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۴۰۳۴۲۲
- Bishop, M.D., Beneciuk, J.M. and George, S.Z. (۲۰۱۱) 'Immediate reduction in temporal sensory summation after thoracic spinal manipulation.' *The Spine Journal* ۲۱(۵), ۴۴۰-۴۴۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۱۴۶۳۹۷۰
- Budgell, B. and Polus, B. (۲۰۰۶) 'The effects of thoracic manipulation on heart rate variability: A controlled crossover trial.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۸), ۶۰۳-۶۱۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۷۰۴۵۰۹۳
- Burke, D. (۲۰۱۶) 'Clinical uses of H reflexes of upper and lower limb muscles.' *Clinical Neurophysiology Practice* ۱, ۹-۱۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۳۰۲۱۴۹۵۴
- Cambridge, E.D., Triano, J.J., Ross, J.K. and Abbott, M.S. (۲۰۱۲) 'Comparison of force development strategies of spinal manipulation used for thoracic pain.' *Manual Therapy* ۱۷(۳), ۲۴۱-۲۴۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۳۸۶۲۷۹
- Cannon, W.B. (۱۹۱۵) *Bodily Changes in Pain, Hunger, Fear, and Rage: An Account of Recent Researches into the Function of Emotional Excitement*. New York: Cornell University Library.
- Chrousos, G.P. (۲۰۰۹) 'Stress and disorders of the stress system.' *Nature Reviews Endocrinology* ۵(۷), ۳۷۴-۳۸۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۹۴۸۸۰۷۳
- Clark, B.C., Goss, D.A. Jr, Walkowski, S., Hoffman, R.L., Ross, A. and Thomas, J.S. (۲۰۱۱) 'Neurophysiologic effects of spinal manipulation in patients with chronic low back pain.' *BMC Musculoskeletal Disorders* ۱۲(۱), ۱۷۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۱۷۸۱۳۱۰
- Colloca, C.J. and Keller, T.S. (۲۰۰۱) 'Stiffness and neuromuscular reflex response of the human spine to posteroanterior manipulative thrusts in patients with low back pain.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۴(۸), ۴۸۹-۵۰۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۶۷۷۵۴۷
- Colloca, C.J., Keller, T.S. and Gunzburg, R. (۲۰۰۳) 'Neuromechanical characterization of in vivo lumbar spinal manipulation. Part II.

- Neurophysiological response.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۶(۹), ۵۷۹-۵۹۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۶۷۳۴۰۷
- Colloca, C.J., Keller, T.S. and Gunzburg, R. (۲۰۰۴) ‘Biomechanical and neurophysiological responses to spinal manipulation in patients with lumbar radiculopathy.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۶(۱), ۱-۱۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۷۳۹۸۶۹
- Colloca, C.J., Keller, T.S., Harrison, D.E., Moore, R.J., Gunzburg, R. and Harrison, D.D. (۲۰۰۶) ‘Spinal manipulation force and duration affect vertebral movement and neuromuscular responses.’ *Clinical Biomechanics* ۲۱(۳), ۲۵۴-۲۶۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۳۷۸۶۶۸
- Cooperstein, R., Young, M. and Haneline, M. (۲۰۱۳) ‘Interexaminer reliability of cervical motion palpation using continuous measures and rater confidence levels.’ *The Journal of the Canadian Chiropractic Association* ۵۶(۲), ۱۵۶-۱۶۴. www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۳۷۵۴۸۶۱
- Coppieters, M.W. and Butler, D.S. (۲۰۰۸) ‘Do “sliders” slide and “tensioners” tension? An analysis of neurodynamic techniques and considerations regarding their application.’ *Manual Therapy* ۱۳(۳), ۲۱۳-۲۲۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۷۳۹۸۱۴۰
- Coronado, R.A., Gay, C.W., Bialosky, J.E., Carnaby, G.D., Bishop, M.D. and George, S.Z. (۲۰۱۲) ‘Changes in pain sensitivity following spinal manipulation: A systematic review and meta-analysis.’ *Journal of Electromyography and Kinesiology* ۲۲(۵), ۷۵۲-۷۶۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۲۹۶۸۶۷
- Cramer, G. and Darby, S. (۲۰۱۳) *Clinical Anatomy of the Spine, Spinal Cord, and ANS*. ۴rd edn. Maryland Heights, MI: Mosby. Available at www.elsevier.com/books/clinical-anatomy-of-the-spine-spinal-cord-andans/۹۷۸۰۳۲۳۰۷۹۵۴۹
- Currie, S.J., Myers, C.A., Durso, C., Enebo, B.A. and Davidson, B.S. (۲۰۱۶) ‘The neuromuscular response to spinal manipulation in the presence of pain.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۹(۴), ۲۸۸-۲۹۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۷۰۵۹۲۵۰
- Daligadu, J., Haavik, H., Yelder, P.C., Baarbe, J. and Murphy, B. (۲۰۱۳) ‘Alterations in cortical and cerebellar motor processing in subclinical neck pain patients following spinal manipulation.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۶(۸), ۵۲۷-۵۳۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۰۳۵۵۲۱

- Dishman, J.D. and Bulbulian, R. (۲۰۰۰) 'Spinal reflex attenuation associated with spinal manipulation.' *Spine* ۲۹(۱۹), ۲۵۱۹-۲۵۲۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۰۱۳۵۰۵
- Dishman, J.D. and Bulbulian, R. (۲۰۰۱) 'Comparison of effects of spinal manipulation and massage on motoneuron excitability.' *Electromyography and Clinical Neurophysiology* ۴۱(۲), ۹۷-۱۰۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۲۸۴۰۶۱
- Dishman, J.D. and Burke, J. (۲۰۰۳) 'Spinal reflex excitability changes after cervical and lumbar spinal manipulation: A comparative study.' *The Spine Journal* ۱۳(۳), ۲۰۴-۲۱۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۵۸۹۲۰۱
- Dishman, J.D., Ball, K.A. and Burke, J. (۲۰۰۲) 'First prize: Central motor excitability changes after spinal manipulation: A transcranial magnetic stimulation study.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۱), ۱-۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۸۹۸۰۱۳
- Dishman, J.D., Burke, J.R. and Dougherty, P. (۲۰۱۸) 'Motor neuron excitability attenuation as a sequel to lumbosacral manipulation in subacute low back pain patients and asymptomatic adults: A cross-sectional H-reflex study.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۴۱(۵), ۳۶۳-۳۷۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۹۹۹۷۰۳۲
- Dishman, J.D., Cunningham, B.M. and Burke, J. (۲۰۰۲) 'Comparison of tibial nerve H-reflex excitability after cervical and lumbar spine manipulation.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۵), ۳۱۸-۳۲۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۲۰۷۲۸۵۲
- Dishman, J.D., Dougherty, P.E. and Burke, J.R. (۲۰۰۵) 'Evaluation of the effect of postural perturbation on motoneuronal activity following various methods of lumbar spinal manipulation.' *The Spine Journal* ۱۵(۶), ۶۵۰-۶۵۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۲۹۱۱۰۷
- Dishman, J.D., Greco, D.S. and Burke, J.R. (۲۰۰۸) 'Motor-evoked potentials recorded from lumbar erector spinae muscles: A study of corticospinal excitability changes associated with spinal manipulation.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۱(۴), ۲۵۸-۲۷۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۴۸۶۷۴۶
- Downie, A.S., Vemulpad, S. and Bull, P.W. (۲۰۱۰) 'Quantifying the high-velocity, low-amplitude spinal manipulative thrust: A systematic review.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۳(۷), ۵۴۲-۵۵۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۰۹۳۷۴۳۲
- Elenkov, I.J., Wilder, R.L., Chrousos, G.P. and Vizi, E.S. (۲۰۰۰) 'The sympathetic nerve - An integrative interface between two supersystems: The

- brain and the immune system.’ *Pharmacological Reviews* ۵۲(۴), ۵۹۵-۶۳۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۱۲۱۵۱۱
- Evans, D.W. (۲۰۰۲) ‘Mechanisms and effects of spinal high-velocity, low-amplitude thrust manipulation: Previous theories.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۴), ۲۵۱-۲۶۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۲۰۲۱۷۴۴
- Evans, D.W. and Breen, A.C. (۲۰۰۶) ‘A biomechanical model for mechanically efficient cavitation production during spinal manipulation: Prethrust position and the neutral zone.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۱), ۷۲-۸۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۳۹۶۷۳۴
- Ferreira, M.L., Ferreira, P.H. and Hodges, P.W. (۲۰۰۷) ‘Changes in postural activity of the trunk muscles following spinal manipulative therapy.’ *Manual Therapy* ۱۲(۳), ۲۴۰-۲۴۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۷۴۵۲۱۱۸
- Frantzis, E., Druelle, P., Ross, K. and McGill, S. (۲۰۱۵) ‘The accuracy of osteopathic manipulations of the lumbar spine: A pilot study.’ *International Journal of Osteopathic Medicine* ۱۸(۱), ۳۳-۳۹. Available at www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1۷۴۶۰۶۸۹۱۴۰۰۹۰X
- Fryer, G. and Pearce, A.J. (۲۰۱۲) ‘The effect of lumbosacral manipulation on corticospinal and spinal reflex excitability on asymptomatic participants.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۵(۲), ۸۶-۹۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۰۳۶۵۸۰
- Funabashi, M., Kawchuk, G.N., Vette, A.H., Goldsmith, P. and Prasad, N. (۲۰۱۶) ‘Tissue loading created during spinal manipulation in comparison to loading created by passive spinal movements.’ *Scientific Reports* ۶, ۳۸۱۰۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۷۹۰۵۵۰۸
- Geisser, M.E., Haig, A.J., Wallbom, A.S. and Wiggert, E.A. (۲۰۰۴) ‘Pain-related fear, lumbar flexion, and dynamic EMG among persons with chronic musculoskeletal low back pain.’ *The Clinical Journal of Pain* ۲۰(۲), ۶۱-۶۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۷۷۰۰۴۴
- George, S.Z., Bishop, M.D., Bialosky, J.E., Zeppieri, G. and Robinson, M.E. (۲۰۰۶) ‘Immediate effects of spinal manipulation on thermal pain sensitivity: An experimental study.’ *BMC Musculoskeletal Disorders* ۷, ۶۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۹۱۱۷۹۵
- Giles, P.D., Hensel, K.L., Pacchia, C.F. and Smith, M.L. (۲۰۱۳) ‘Suboccipital decompression enhances heart rate variability indices of cardiac control in

- healthy subjects.’ *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* ۱۹(۲), ۹۲-۹۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۹۹۴۹۰۷
- Herrero, J.F., Laird, J.M. and Lopez-Garcia, J.A. (۲۰۰۰) ‘Wind-up of spinal cord neurones and pain sensation: Much ado about something?’ *Progress in Neurobiology* ۶۱(۲), ۱۶۹-۲۰۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۰۷۰۴۹۹۷
- Herzog, W. (۲۰۰۰) *Clinical Biomechanics of Spinal Manipulation*. London: Churchill Livingstone. Available at www.elsevier.com/books/clinical-biomechanics-ofspinal-manipulation/herzog/۹۷۸-۰-۴۴۳-۰۷۸۰۸-۸
- Hodges, P.W. and Moseley, G.L. (۲۰۰۳) ‘Pain and motor control of the lumbopelvic region: Effect and possible mechanisms.’ *Journal of Electromyography and Kinesiology* ۱۳(۴), ۳۶۱-۳۷۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۲۸۳۲۱۶۶
- Johansson, H. and Sojka, P. (۱۹۹۱) ‘Pathophysiological mechanisms involved in genesis and spread of muscular tension in occupational muscle pain and in chronic musculoskeletal pain syndromes: A hypothesis.’ *Medical Hypotheses* ۳۹(۳), ۱۹۶-۲۰۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۹۴۳۸۶۳
- Keller, T.S., Colloca, C.J. and Gunzburg, R. (۲۰۰۳) ‘Neuromechanical characterization of in vivo lumbar spinal manipulation. Part I. Vertebral motion.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۶(۹), ۵۶۷-۵۷۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۶۷۳۴۰۶
- Kenney, M.J. and Ganta, C.K. (۲۰۱۱) ‘Autonomic nervous system and immune system interactions.’ *Comprehensive Physiology* ۴(۳), ۱۱۷۷-۱۲۰۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۹۴۴۰۳۴
- Klomjai, W., Katz, R. and Lackmy-Vallée, A. (۲۰۱۵) ‘Basic principles of transcranial magnetic stimulation (TMS) and repetitive TMS (rTMS).’ *Annals of Physical and Rehabilitation Medicine* ۵۸(۴), ۲۰۸-۲۱۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۶۳۱۹۹۶۳
- Korr, I.M. (۱۹۷۵) ‘Proprioceptors and somatic dysfunction.’ *The Journal of the American Osteopathic Association* ۷۴(۷), ۶۳۸-۶۵۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۲۴۷۵۴
- Korr, I.M. (۲۰۱۲) *The Neurobiologic Mechanisms in Manipulative Therapy*. Boston, MA: Springer. Available at www.springer.com/gp/book/۹۷۸۱۴۶۸۴۸۹۰۴۰
- Korr, I.M., Wright, H.M. and Thomas, P.E. (۱۹۶۲) ‘Effects of experimental myofascial insults on cutaneous patterns of sympathetic activity in man.’ *Acta Neurovegetativa* ۲۳, ۳۲۹-۳۵۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۴۵۸۵۳۱

- Lehman, G. (۲۰۱۲) 'Kinesiological research: The use of surface electromyography for assessing the effects of spinal manipulation.' *Journal of Electromyography and Kinesiology* ۲۲(۵), ۶۹۲-۶۹۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۴۲۵۱۴۷
- Lehman, G.J. and McGill, S.M. (۲۰۰۱) 'Spinal manipulation causes variable spine kinematic and trunk muscle electromyographic responses.' *Clinical Biomechanics* ۱۶(۴), ۲۹۳-۲۹۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۳۵۸۶۱۶
- Lelic, D., Niazi, I.K., Holt, K., Jochumsen, M., Dremstrup, K., Yelder, P. et al. (۲۰۱۶) 'Manipulation of dysfunctional spinal joints affects sensorimotor integration in the prefrontal cortex: A brain source localization study.' *Neural Plasticity* ۲۰۱۶, ۳۷۰۴۹۶۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۷۰۴۷۶۹۴
- Lewis, S., Holmes, P., Woby, S., Hindle, J. and Fowler, N. (۲۰۱۲) 'The relationships between measures of stature recovery, muscle activity and psychological factors in patients with chronic low back pain.' *Manual Therapy* ۱۷(۱), ۲۷-۳۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۱۹۰۳۴۴۵
- Lund, J.P., Donga, R., Widmer, C.G. and Stohler, C.S. (۱۹۹۱) 'The pain-adaptation model: A discussion of the relationship between chronic musculoskeletal pain and motor activity.' *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology* ۶۹(۵), ۶۸۳-۶۹۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۶۳۹۲۱
- Maigne, J.Y. and Vautravers, P. (۲۰۰۳) 'Mechanism of action of spinal manipulative therapy.' *Joint Bone Spine* ۷۰(۵), ۳۳۶-۳۴۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۵۶۳۴۶۰
- Melzack, R. and Wall, P.D. (۱۹۶۵) 'Pain mechanisms: a new theory.' *Science* ۱۵۰(۳۶۹۹), ۹۷۱-۹۷۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۵۳۲۰۸۱۶
- Millan, M., Leboeuf-Yde, C., Budgell, B. and Amorim, M.A. (۲۰۱۲) 'The effect of spinal manipulative therapy on experimentally induced pain: A systematic literature review.' *Chiropractic & Manual Therapies* ۲۰(۱), ۲۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۸۸۳۵۳۴
- Nougarou, F., Pagé, I., Loranger, M., Dugas, C. and Descarreaux, M. (۲۰۱۶) 'Neuromechanical response to spinal manipulation therapy: Effects of a constant rate of force application.' *BMC Complementary and Alternative Medicine* ۱۶(۱), ۱۶۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۷۲۴۹۹۳۹
- Ogura, T., Tashiro, M., Masud, M., Watanuki, S., Shibuya, K., Yamaguchi, K. et al. (۲۰۱۱) 'Cerebral metabolic changes in men after chiropractic spinal

- manipulation for neck pain.' *Alternative Therapies in Health & Medicine* ۱۶(۶), ۱۲-۱۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۳۱۴۷۱۴
- O' Neill, S., Ødegaard-Olsen, Ø. and Søvde, B. (۲۰۱۵) 'The effect of spinal manipulation on deep experimental muscle pain in healthy volunteers.' *Chiropractic & Manual Therapies* ۲۳, ۲۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۶۳۴۷۸۰۸
- Padayachy, K., Vawda, G.H., Shaik, J. and McCarthy, P.W. (۲۰۱۰) 'The immediate effect of low back manipulation on serum cortisol levels in adult males with mechanical low back pain.' *Clinical Chiropractic* ۱۲(۴), ۲۴۶-۲۵۲. Available at www.sciencedirect.com/science/article/pii/S۱۴۷۹۲۳۵۴۱۰۰۰۱۷۵۶
- Pickar, J.G. (۲۰۰۲) 'Neurophysiological effects of spinal manipulation.' *The Spine Journal* ۱۲(۵), ۳۵۷-۳۷۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۵۸۹۴۶۷
- Pickar, J.G. and Bolton, P.S. (۲۰۱۲) 'Spinal manipulative therapy and somatosensory activation.' *Journal of Electromyography and Kinesiology* ۲۲(۵), ۷۸۵-۷۹۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC۳۳۹۹۰۲۹
- Plaza-Manzano, G., Molina, F., Lomas-Vega, R., Martínez-Amat, A., Achalandabaso, A. and Hita-Contreras, F. (۲۰۱۴) 'Changes in biochemical markers of pain perception and stress response after spinal manipulation.' *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* ۴۴(۴), ۲۳۱-۲۳۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۴۵۰۳۶۷
- Pongratz, G. and Straub, R.H. (۲۰۱۴) 'The sympathetic nervous response in inflammation.' *Arthritis Research & Therapy* ۱۶(۶), ۵۰۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۵۷۸۹۳۷۵
- Potter, L., McCarthy, C.J. and Oldham, J.A. (۲۰۰۵) 'Physiological effects of spinal manipulation: A review of proposed theories.' *Physical Therapy Reviews* ۱۰(۳), ۱۶۳-۱۷۰. Available at www.researchgate.net/publication/۲۳۳۶۸۹۱۰۰_Physiological_effects_of_spinal_manipulation_A_review_of_proposed_theories
- Randoll, C., Gagnon-Normandin, V., Tessier, J., Bois, S., Rustamov, N., O' Shaughnessy, J. et al. (۲۰۱۷) 'The mechanism of back pain relief by spinal manipulation relies on decreased temporal summation of pain.' *Neuroscience* ۳۴۹, ۲۲۰-۲۲۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۸۲۸۸۹۰۰
- Reed, W.R., Pickar, J.G., Sozio, R.S. and Long, C.R. (۲۰۱۴) 'Effect of spinal manipulation thrust magnitude on trunk mechanical activation thresholds of lateral thalamic neurons.' *Journal of Manipulative and Physiological*

- Therapeutics* ۳۷(۵), ۲۷۷-۲۸۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۹۲۸۶۳۶
- Sampath, K.K., Mani, R., Cotter, J.D. and Tumilty, S. (۲۰۱۵) 'Measureable changes in the neuro-endocrinal mechanism following spinal manipulation.' *Medical Hypotheses* ۸۹(۶), ۸۱۹-۸۲۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۶۴۶۴۱۴۵
- Sampath, K.K., Botnmark, E., Mani, R., Cotter, J.D., Katare, R., Munasinghe, P.E. et al. (۲۰۱۷) 'Neuroendocrine response following a thoracic spinal manipulation in healthy men.' *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* ۴۷(۹), ۶۱۷-۶۲۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۸۷۰۴۶۲۵
- Savva, C., Giakas, G. and Efstathiou, M. (۲۰۱۴) 'The role of the descending inhibitory pain mechanism in musculoskeletal pain following high-velocity, low amplitude thrust manipulation. A review of the literature.' *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation* ۲۷(۴), ۳۷۷-۳۸۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۴۸۶۷۸۹۷
- Schmid, A., Brunner, F., Wright, A. and Bachmann, L.M. (۲۰۰۸) 'Paradigm shift in manual therapy? Evidence for a central nervous system component in the response to passive cervical joint mobilisation.' *Manual Therapy* ۱۳(۵), ۳۸۷-۳۹۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۳۱۶۲۳۸
- Seffinger, M.A., Najm, W.I., Mishra, S.I., Adams, A., Dickerson, V.M., Murphy, L.S. et al. (۲۰۰۴) 'Reliability of spinal palpation for diagnosis of back and neck pain: A systematic review of the literature.' *Spine* ۲۹(۱۹), E۴۱۳-E۴۲۵. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۵۴۵۴۷۲۲/
- Sillevis, R., Cleland, J., Hellman, M. and Beekhuizen, K. (۲۰۱۰) 'Immediate effects of a thoracic spine thrust manipulation on the autonomic nervous system: A randomized clinical trial.' *Journal of Manual & Manipulative Therapy* ۱۸(۴), ۱۸۱-۱۹۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۲۱۳۱۷۹۱
- Skyba, D.A., Radhakrishnan, R., Rohlwing, J.J., Wright, A. and Sluka, K.A. (۲۰۰۳) 'Joint manipulation reduces hyperalgesia by activation of monoamine receptors but not opioid or GABA receptors in the spinal cord.' *Pain* ۱۰۷(۱-۲), ۱۵۹-۱۶۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۴۵۸۱۱۲۳
- Song, X.J., Gan, Q., Cao, J.L., Wang, Z.B. and Rupert, R.L. (۲۰۰۶) 'Spinal manipulation reduces pain and hyperalgesia after lumbar intervertebral foramen inflammation in the rat.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۹(۱), ۵-۱۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۳۹۶۷۲۴

- Sparks, C., Cleland, J.A., Elliott, J.M., Zagardo, M. and Liu, W.C. (۲۰۱۳) ‘Using functional magnetic resonance imaging to determine if cerebral hemodynamic responses to pain change following thoracic spine thrust manipulation in healthy individuals.’ *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* ۴۳(۵), ۳۴۰-۳۴۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۳۴۸۵۷۶۶
- Staud, R., Craggs, J.G., Robinson, M.E., Perlstein, W.M. and Price, D.D. (۲۰۰۷) ‘Brain activity related to temporal summation of C-fiber evoked pain.’ *Pain* ۱۲۹(۱-۲), ۱۳۰-۱۴۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۷۱۵۶۹۲۳
- Sterling, M., Jull, G. and Wright, A. (۲۰۰۱) ‘Cervical mobilisation: Concurrent effects on pain, sympathetic nervous system activity and motor activity.’ *Manual Therapy* ۷(۲), ۷۲-۸۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۴۱۴۷۷۶
- Suter, E., McMorland, G. and Herzog, W. (۲۰۰۵) ‘Short-term effects of spinal manipulation on H-reflex amplitude in healthy and symptomatic subjects.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۸(۹), ۶۶۷-۶۷۲. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۳۶۶۲۳۶
- Taylor, H.H. and Murphy, B. (۲۰۱۰) ‘Altered central integration of dual somatosensory input after cervical spine manipulation.’ *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۳(۳), ۱۷۸-۱۸۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۰۳۵۰۶۷۰
- Travell, J., Rinzler, S. and Herman, M. (۱۹۴۲) ‘Pain and disability of the shoulder and arm: Treatment by intramuscular infiltration with procaine hydrochloride.’ *Journal of the American Medical Association* ۱۲۰(۶), ۴۱۷-۴۲۲. Available at <https://jamanetwork.com/journals/jama/article-abstract/۲۵۷۸۴۲>
- Trompetto, C., Marinelli, L., Mori, L., Pelosin, E., Currà, A., Molfetta, L. et al. (۲۰۱۴) ‘Pathophysiology of spasticity: Implications for neurorehabilitation.’ *BioMed Research International* ۲۰۱۴, ۳۵۴۹۰۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۵۵۳۰۹۶۰
- Ulrich-Lai, Y.M. and Herman, J.P. ‘Neural regulation of endocrine and autonomic stress responses.’ *Nature Reviews Neuroscience* ۱۰(۶), ۳۹۷-۴۰۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۹۴۶۹۰۲۵
- van Dieën, J.H., Selen, L.P. and Cholewicki, J. (۲۰۰۳) ‘Trunk muscle activation in low-back pain patients, an analysis of the literature.’ *Journal of Electromyography and Kinesiology* ۱۳(۴), ۳۳۳-۳۵۱. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۲۸۳۲۱۶۴

- Vernon, H. (۲۰۰۰) 'Qualitative review of studies of manipulation-induced hypoalgesia.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۲۳(۲), ۱۳۴-۱۳۸. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۰۷۱۴۵۴۴
- Walker, B.F., Koppenhaver, S.L., Stomski, N.J. and Hebert, J.J. (۲۰۱۵) 'Interrater reliability of motion palpation in the thoracic spine.' *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* ۲۰۱۵, ۸۱۵۴۰۷. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۶۱۷۰۸۸۳
- Ward, J., Coats, J., Tyer, K., Weigand, S. and Williams, G. (۲۰۱۳) 'Immediate effects of anterior upper thoracic spine manipulation on cardiovascular response.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics* ۳۶(۲), ۱۰۱-۱۱۰. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۳۴۹۹۱۴۵
- Welch, A. and Boone, R. (۲۰۰۸) 'Sympathetic and parasympathetic responses to specific diversified adjustments to chiropractic vertebral subluxations of the cervical and thoracic spine.' *Journal of Chiropractic Medicine* ۷(۳), ۸۶-۹۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۹۶۴۶۳۶۹
- Wilder, D.G., Aleksiev, A.R., Magnusson, M.L., Pope, M.H., Spratt, K.F. and Goel, V.K. (۱۹۹۶) 'Muscular response to sudden load: A tool to evaluate fatigue and rehabilitation.' *Spine* ۲۱(۲۲), ۲۶۲۸-۲۶۳۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۹۰۴۵۳۴۸
- Williams, N.H., Hendry, M., Lewis, R., Russell, I., Westmoreland, A. and Wilkinson, C. (۲۰۰۷) 'Psychological response in spinal manipulation (PRISM): A systematic review of psychological outcomes in randomised controlled trials.' *Complementary Therapies in Medicine* ۱۳(۴), ۲۷۱-۲۸۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۸۰۵۴۷۲۹
- Win, N.N., Jorgensen, A.M., Chen, Y.S. and Haneline, M.T. (۲۰۱۵) 'Effects of upper and lower cervical spinal manipulative therapy on blood pressure and heart rate variability in volunteers and patients with neck pain: A randomized controlled, cross-over, preliminary study.' *Journal of Chiropractic Medicine* ۱۴(۱), ۱-۹. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۶۶۹۳۲۱۲
- Wright, A. (۱۹۹۵) 'Hypoalgesia post-manipulative therapy: A review of a potential neurophysiological mechanism.' *Manual Therapy* ۱(۱), ۱۱-۱۶. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۱۳۲۷۷۸۹
- Younes, M., Nowakowski, K., Didier-Laurent, B., Gombert, M. and Cottin, F. (۲۰۱۷) 'Effect of spinal manipulative treatment on cardiovascular autonomic control in patients with acute low back pain.' *Chiropractic & Manual Therapies* ۲۵, ۳۳. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۹۲۱۴۰۱۵
- Zafereo, J. and Deschenes, B.K. (۲۰۱۵) 'The role of spinal manipulation in modifying central sensitization.' *Journal of Applied Biobehavioral Research*

۲۰(۲), ۸۴-۹۹. Available at

www.researchgate.net/publication/۲۷۷۵۶۰۹۴۲ The Role of Spinal Manipulation in Modifying Central Sensitization

Zedka, M., Prochazka, A., Knight, B., Gillard, D. and Gauthier, M. (۱۹۹۹) 'Voluntary and reflex control of human back muscles during induced pain.'

The Journal of Physiology ۵۲۰(۲), ۵۹۱-۶۰۴. Available at

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۰۵۲۳۴۲۵

Zegarar-Parodi, R., Park, P.Y., Heath, D.M., Makin, I.R., Degenhardt, B.F. and Roustit, M. (۲۰۱۵) 'Assessment of skin blood flow following spinal manual therapy: A systematic review.' *Manual Therapy* ۲۰(۲), ۲۲۸-۲۴۹. Available at

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۲۵۲۶۱۰۸۸

Zhang, J., Dean, D., Nosco, D., Strathopulos, D. and Floros, M. (۲۰۰۶) 'Effect of chiropractic care on heart rate variability and pain in a multisite clinical study.' *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*

۲۹(۴), ۲۶۷-۲۷۴. Available at www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/۱۶۶۹۰۳۸۰

'An index for illustrating the level of reflex excitability of the motor pool, which, in turn, is dependent on the facilitation of the transmission between the Ia fibers and the AMN (alpha motor neuron).