DOI: 10.22122/jrrs.v13i1.2789 Published by Vesnu Publications

مروری نظام‌مند بر کارایی ربات‌های دستیار در عمل جراحی کاشت حلزون

علیرضا گلچین نامداری[۱]، سمیه فلاح زاده[۲]، عادل غلامی‌نژاد[۱]

مقاله مروری

چکیده

مقدمه: جراحی کاشت حلزون، روشی تهاجمی برای ایجاد حس شنوایی است که خطراتی مانند آسیب حلزون گوش را به همراه دارد و لازم است تا حد امکان این خطرات کاهش یابد. کاشت حلزون‌ها در آینده سه هدف کلی شامل «کاهش آسیب به داخل حلزون گوش در حین عمل جراحی، بازدهی بیشتر عمل جراحی که به معنی کاهش بار تحریک الکتریکی برای تولید بلندی مناسب است و ورود عمیق‌تر به حفره اسکالا تیمپانی برای رسیدن به اعصاب حلزونی مربوط به فرکانس‌های پایین‌تر» را دنبال می‌کند. برای رسیدن به این اهداف، نیاز به دقت بالایی است که امروزه استفاده از ربات دستیار در جراحی، راه‌حل مناسبی به نظر می‌رسد. هدف از انجام مطالعه حاضر، بررسی کارایی سیستم‌های رباتیک در عمل جراحی کاشت حلزون بود.

مواد و روش‌ها: در این پژوهش، مقالات پایگاه‌های علمی PubMed، ScienceDirect و Google Scholar در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ با استفاده از واژگان مرتبط با موضوع، مورد بررسی قرار گرفت و مقالات با توجه به معیارهای ورود و خروج انتخاب گردید.

یافته‌ها: مطالعه بر روی سه سیستم رباتیک تمرکز نمود؛ اولین روش، هدایت مغناطیسی بود که در آن از کاشت حلزونی که نوک پروتز آن خاصیت مغناطیسی دارد، برای ورود به حلزون گوش استفاده می‌شود. در این روش یک آهنربای کنترلی چرخان در نزدیکی سر افراد جهت هدایت مغناطیسی پروتز قرار می‌گیرد. دومین سیستم بر روی تعیین تغییرات زاویه ورود آرایه الکترودی به داخل حلزون، به وسیله آرایه‌های الکترودی ورودی کنترل شده تمرکز دارد و سیستم دیگر، تهاجم جراحی را به وسیله از بین بردن نیاز به ماستوئیدکتومی و تعویض آن با روش تونل مستقیم (دسترسی مستقیم حلزونی)، کاهش می‌دهد.

نتیجه‌گیری: سیستم‌های رباتیک موجب کاهش انرژی مورد نیاز برای ورود آرایه الکترود، ورود عمیق‌تر آرایه به حلزون گوش برای بهبود عملکرد کاشت حلزون و کاهش آسیب به داخل حلزون گوش در حین عمل جراحی می‌شود. به دنبال موارد مذکور، درک گفتار در حضور نویز و کیفیت صدا برای کاربران بهبود خواهد یافت.

کلید واژه‌ها: کاشت حلزون، حداقل تهاجم، ربات دستیار جراحی

ارجاع: گلچین نامداری علیرضا، فلاح زاده سمیه، غلامی‌نژاد عادل. **مروری نظام‌مند بر کارایی ربات‌های دستیار در عمل جراحی کاشت حلزون.** پژوهش در علوم توانبخشی ۱۳۹۶؛ ۱۳ (۱): ۵۹-۵۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۹/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۲/۱۵

مقدمه

جراحی کاشت حلزون، نوعی روش انتخابی با قابلیت برگرداندن توانایی حس شنوایی در افراد با کم‌شنوایی شدید تا عمیق می‌باشد (۴-۱). در یک سیستم کاشت حلزون، میکروفونی خارجی و واحد پردازشگر صدا/ گفتار، سیگنال‌ها را از طریق پوست به دریافت کننده‌ای که زیر آن قرار دارد، انتقال می‌دهد. این دریافت کننده ایمپالس‌های الکتریکی را به آرایه الکترودی که در درون حلزون کاشت شده است، می‌فرستد. آرایه مذکور، عصب‌های داخل حلزونی را تحریک می‌کند که موجب حس کردن صدا می‌شود.

جراح، حلزون را به مجاورت دریچه گرد سوراخ (باز) می‌کند (ککلئوستومی) که این کار جایگزینی الکترود را به داخل اسکالا تیمپانی امکان‌پذیر می‌سازد. آرایه‌ای الکترودی که درون اسکالا تیمپانی قرار گرفته است، نورون‌های شنوایی را به منظور انتقال اطلاعات شنوایی آوران به ساقه مغز تحریک می‌کند. الکترود به یک پردازنده داخلی جفت می‌شود که این پردازنده نیز به یک میکروفون خارجی و پردازنده گفتار متصل شده است. این پردازنده داخلی، صدا را به ایمپالس‌های الکتریکی که به وسیله آرایه الکترودی حمل می‌شوند، تبدیل می‌کند. آناتومی حلزون، محیطی است که برای جلوگیری از آسیب رسیدن به آن، دقت زیادی مورد نیاز است (۶، ۵).

۱- دانشجوی کارشناسی، کمیته تحقیقات دانشجویی (تریتا)، گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده توان‌بخشی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
۲- مربی، گروه شنوایی‌شناسی، دانشکده توان‌بخشی، دانشگاه علوم پزشکی اصفهان، اصفهان، ایران
نویسنده مسؤول: سمیه فلاح زاده
Email: sofaaudiology@gmail.com

اسکالا تیمپانی در قسمت ابتدایی پروگزیمال خود (۸) زاویه‌دار است و از محل پنجره گرد (۲ تا ۳ میلی‌متر) به پیچ قائده‌ای (کمتر از ۱ میلی‌متر) حالت مخروطی دارد. محل قرارگیری کاشت در این منطقه می‌باشد. فضای اسکالا تیمپانی به وسیله یک غشای پایه نازک در رأس که جایگاهی برای اندام کورتی است، محدود می‌شود. غشای پایه به تیغه استخوان مارپیچی که محل قرارگیری ملحقات اعصاب شنوایی می‌باشد، متصل می‌گردد. فاصله درون نردبانی دریچه گرد از اولین خمیدگی پیچ قائده‌ای، به طور متوسط در بزرگسالان ۶ تا ۷ میلی‌متر است (۹). برنامه‌ریزی قبل از عمل جراحی برای یافتن مسیر ورودی مناسب جایگذاری الکترود، به خصوص زمانی که احتمال آسیب به غشای پایه (خم شدن) و یا هدایت اشتباه آرایه الکترودی هنگام رسیدن به پیچ پایه وجود دارد، حیاتی می‌باشد (۱۰).

باز کردن حلزون به منظور ورود آرایه الکترودی با ماستوئیدکتومی شروع می‌شود. این روش تهاجمی، نیازمند سوراخ کردن استخوان از قسمت خلف کانال شنوایی خارجی با استفاده از یک دریل دستی مخصوص جراحی می‌باشد. باید توجه داشت که برخی ساختارهای آناتومیکی حساس مانند عصب صورتی، عصب کورداتیمپانی و کانال گوش هنگام سوراخ کردن استخوان (به عمق تقریبی ۳۵ میلی‌متر) مورد آسیب قرار نگیرند. آسیب به عصب صورتی می‌تواند موجب فلج دایمی صورت، آسیب به عصب کورداتیمپانی باعث دگرگونی حس چشایی و آسیب به کانال گوش سبب عفونت می‌شود. جراحان مجرب برای جلوگیری از ایجاد آسیب به این ساختارها، باید به یک تصویر سه بعدی ذهنی و هماهنگی چشم و دست تکیه کنند. همچنین، خطر جدی آسیب به طاقچه صورتی (محل جدا شدن عصب صورتی و کورداتیمپانی به کوچکی ۲ تا ۴ میلی‌متر) وجود دارد (۱۱). دریل و آرایه الکترودی برای عبور از گوش میانی و رسیدن به حلزون، باید از این فضای باریک عبور کنند. در بسیاری از افراد، ماستوئیدکتومی وقت‌گیرترین و تهاجمی‌ترین بخش از جراحی کاشت حلزون به شمار می‌رود. اندازه تونل ایجاد شده باید از قطر آرایه بیشتر باشد تا آرایه بتواند به سهولت در آن حرکت کند و به اندام‌های مجاور آسیبی وارد نشود.

نتایج مطالعات جدید نشان می‌دهد که برای عمل سوراخ کردن از میان طاقچه صورتی، به دقت کمتر از ۰/۵ میلی‌متر نیاز است (۱۲). با این حال، رسیدن به این سطح از دقت، با استفاده از ابزارهای دستی امکان‌پذیر نیست (۱۳)، اما امکان استفاده از الگوهای بدن افراد، توجهات را به سمت توسعه ابزارهایی که بر ایجاد مسیر ماستوئیدکتومی منحصر به فرد تمرکز دارند، سوق داد (۱۵، ۱۴). اگرچه با این کار، دقت انجام جراحی به ۰/۱۸ ± ۰/۳۶ میلی‌متر رسید، اما تأخیر در ساخت و تحویل این الگوها، چالش مهمی به حساب می‌آید. بنابراین، استفاده از ربات‌هایی که با ایجاد تونل مستقیمی، دسترسی به حلزون را امکان‌پذیر می‌کنند، توسعه یافت (۱۷، ۱۶).

در حال حاضر، تقاضای زیادی از سوی بیماران و جراحان برای استفاده از ربات دستیار در عمل جراحی وجود دارد که علت اصلی آن، تهاجم پایین در جراحی می‌باشد. مزایای بالقوه ربات‌های پزشکی شامل امکان کنترل از راه دور و دست‌کاری و برنامه‌ریزی دیجیتالی است که باعث سهولت در استفاده و دقت بالا می‌گردد (۱۸). پیشرفت‌های تکنولوژی اخیر منجر به افزایش مطالعات در حوزه روش‌های کاشت حلزون به ویژه یکپارچگی آن‌ها با ربات‌های دستیار شده است (۱۹). با توجه به معرفی و ابداع سیستم‌های متعدد رباتیک در حوزه کاشت حلزون، شناخت و بررسی این سیستم‌ها امری ضروری به نظر می‌رسد. هدف از انجام تحقیق حاضر، بررسی و مطالعه پژوهش‌های مرتبط با استفاده از سیستم‌های رباتیک در جراحی کاشت حلزون بود.

مواد و روش‌ها

به منظور تعیین مطالعات مناسب درباره کارایی ربات‌های دستیار در عمل جراحی کاشت حلزون، پایگاه اطلاعات علمی PubMed، ScienceDirect و Google Scholar در بازه زمانی سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۷ مورد بررسی قرار گرفت. از کلمات کلیدی «کاشت حلزون (Cochlear implant)، حداقل تهاجم (Minimally invasive) و ربات دستیار جراحی (Robot-assisted surgery)» برای جستجو استفاده شد. هیچ‌گونه محدودیت زبانی مد نظر نبود. برای انتخاب و مرور مقالات مناسب، قسمت چکیده (به منظور اطمینان از هماهنگی ادبیات مقالات با ادبیات جستجوی مورد نظر) و منابع مطالعات مورد بررسی قرار گرفت. مقالات غیر رایگان با پرداخت هزینه شخصی نویسندگان به دست آمد.

مطالعات بر اساس معیارهای ورود انتخاب شدند. این معیار شامل «داشتن Citation معتبر و دسترس‌پذیری، در زمینه کاشت حلزون و با تمرکز بر روی جراحی رباتیک» بود. انجام شدن تحقیق بر روی حیوانات نیز به عنوان معیار خروج در نظر گرفته شد. معیارهای ورود و خروج به طور مستقل توسط دو نفر بازبین‌گر تصدیق شد.

داده‌ها توسط نویسنده اول استخراج گردید و به طور مستقل به وسیله نویسنده دوم مورد بازبینی قرار گرفت. در صورت نیاز، اختلافات توسط توافق عمومی و نویسنده مسؤول حل و فصل شد. مطالعات انتخاب شده، شواهد مناسب برای سه نوع سیستم را فراهم نمودند که شامل «هدایت مغناطیسی، ورود آرایه الکترودی با قابلیت هدایت و دسترسی مستقیم به حلزون» می‌باشد.

یافته‌ها

هدایت مغناطیسی: ایده اصلی و اولیه هدایت مغناطیسی برای کاشت حلزون پیش‌تر پیشنهاد شده بود (۲۰). Clark و همکاران راهکاری را پیشنهاد دادند که در آن، پروتز کاشتی که نوک آن خاصیت مغناطیسی داشت، هنگام ورود به حلزون به طور مغناطیسی کنترل می‌شود (۲۱). با بهره‌گیری از آهنربای دو قطبی چرخانی که در نزدیکی سر فرد قرار می‌گیرد، جراحان قادر به به کارگیری گشتاور مغناطیسی نوک پروتز کاشت هستند و این موضوع باعث دور شدن پروتز از دیواره‌های اسکالا تیمپانی هنگام ورود می‌شود. آنان برای اثبات این موضوع، دو نمونه آزمایش تعیین شده را برای هدایت مغناطیسی انجام دادند. این کار با استفاده از دستگاه‌های آزمایشی خودکار برای ورود پروتز کاشت مدرجی که نوک آن دارای خاصیت مغناطیسی است به یک اسکالا تیمپانی شبیه‌سازی شده، انجام گرفت (۲۲).

آن‌ها نیروی وارد کننده در روش‌های هدایت مغناطیسی و غیر هدایتی را اندازه‌گیری و نتایج را با هم مقایسه کردند. نتایج نشان داد که هدایت مغناطیسی می‌تواند نیروی وارد شده را حدود ۵۰ درصد کاهش دهد. روش آن‌ها بر پایه روش کنونی اندازه‌گیری نیروی ورودی (نیروی اتصال بین پروتز و اسکالا تیمپانی) می‌باشد که به عنوان سنجشی جهت ارزیابی نیروی ایجاد کننده تروما به کار می‌رود (۲۸-۲۳).

روش اجرای کاشت حلزون به روش هدایت مغناطیسی در شکل ۱ (قسمت الف) نشان داده شده است. برای هدایت پروتز کاشت حلزون، یک آهنربای

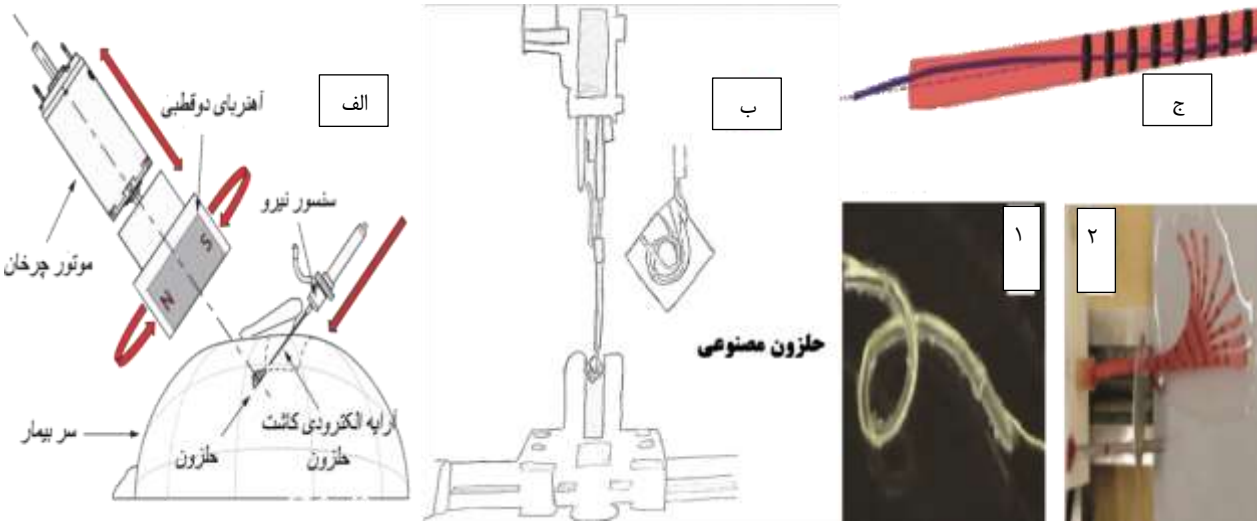
http://jrrs.mui.ac.ir

کوچک دایمی در نوک پروتز کاشت قرار داده می‌شود و از یک آهنربای بزرگ دو قطبی نیز در نزدیکی سر فرد برای ایجاد میدان مغناطیسی مورد نیاز نوک پروتز استفاده می‌شود. عملکرد آهنربای دو قطبی توسط یک موتور چرخان کنترل می‌گردد؛ به طوری که خاصیت مغناطیسی آهنربا عمود بر محور چرخش پروتز کاشت می‌باشد. محور چرخش پروتز تا حدودی با محور مرکزی و مارپیچی حلزون مطابقت دارد. هنگامی که پروتز کاشت حلزون وارد می‌شود، آهنربای دو قطبی به طور فعال می‌چرخد تا بتواند پروتز را خم کند. در نتیجه، پروتز کاشت از دیواره حلزون دور می‌شود و نیروی اتصال بین پروتز و دیواره‌های اسکالا تیمپانی کاهش می‌یابد. موتور چرخان قادر است در محور چرخش خود حرکت نماید که این کار باعث تغییر فاصله بین آهنربای دو قطبی و سر فرد می‌گردد و در نتیجه، منجر به تغییر قدرت میدان مغناطیسی اعمال شده بر نوک پروتز کاشت حلزون می‌شود. وارد شدن پروتز کاشت به صورت خودکار و هماهنگ با حرکت آهنربای دو قطبی در نرم‌افزار پیشرفته کنترل صورت می‌گیرد.

ورود آرایه الکترودی قابل کنترل: ورود آرایه الکترودی کاشت حلزون به روش رباتیک، دارای مزایای قابل توجهی از جمله قابلیت تکرار و کاهش نیروی ورودی است که نتیجه آن، کم کردن ترومای داخل حلزونی می‌باشد. Schurzig و همکاران از سیستم رباتیکی استفاده کردند که در شکل ۱ (قسمت ب) نشان داده شده است (۲۴). در مطالعه آن‌ها، دستگاه وارد کننده‌ای که در ابتدا توسط Hussong و همکاران (۲۸، ۱۲) و Rau و همکاران (۲۹) طراحی شده بود، توسط Schurzig و همکاران اصلاح و مورد استفاده قرار گرفت (۳۰). آن‌ها به دنبال بررسی خصوصیات نیروی ورودی در هر دو روش آرایه‌های الکترودی دارای استایلت (وسیله‌ای شبیه به سیخ که در جراحی استفاده می‌شود) و روش متداول بودند. در روش ورود آرایه الکترودی دارای استایلت، استایلت پس از ورود کامل آرایه الکترودی، خارج می‌شود یا در روش پیشرفته دیگری به نام ورود استایلت خارجی (Advance off-stylet یا AOS)، استایلت به طور همزمان با آرایه الکترودی خارج می‌شود. آن‌ها با استفاده از این ربات وارد کننده که می‌تواند باعث کاهش تغییر نتایج جراحی کاشت و افزایش تکرارپذیری شود، نشان دادند که ورود آرایه الکترودی کاشت حلزون با استفاده از روش AOS، می‌تواند کاهش میانگین و حداکثر نیروی ورودی در مقایسه با روش متداول را به همراه داشته باشد. هر دو روش با ورود مستقیم آرایه به اندازه ۱۷-۷ میلی‌متر آغاز می‌شود که میانگین و حداکثر نیروی ورودی در روش متداول ۰/۰۲۷ ± ۰/۰۴۶ و ۰/۰۹۳ بود؛ در صورتی که موارد بیان شده برای روش ورودی AOS به ترتیب ۰/۰۰۶ ± ۰/۰۰۸ و ۰/۰۳۴ می‌باشد. در مقدار دورتر از ۹/۷۴ میلی‌متر، تفاوت میان نیروی ورودی در روش‌های متداول و AOS بسیار معنی‌دار بود. این روش ورودی رباتیک، به روش Todd و همکاران مشابهت داشت که در آن روش‌های متفاوت ورود آرایه الکترودی کاشت حلزون با هم مورد مقایسه قرار گرفت (۶).

نتایج مطالعه Zhang و همکاران نشان داد که نیروی ورودی تنها به عدم تطابق حالت بین اسکالا تیمپانی و آرایه الکترودی ورودی وابسته نیست، بلکه به سرعت ورود نیز وابسته است. آنان مدل حساسی را برای توصیف کل روند ورود الکترود ارایه نمودند و ارتباط میان سرعت و نیروی ورودی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایشگاهی و آماری، کارامد بودن مدل را نشان داد. اجرایی کردن این مدل حساس، محدوده نیروی ورودی مطمئن و سرعت ورود بهینه را برای جراحی‌های آینده مهیا می‌کند. همچنین، اطلاعات لازم برای سرعت ورودی مطلوب و مناسب را پیشگویی و قانون کنترل بازخورد را طراحی کردند که می‌تواند برای کمک به جراحی کاشت حلزون توسط ربات کمک کننده باشد و به کار گرفته شود (۳۱).

Simaan و همکاران نیز روش مطلوبی را برای طراحی آرایه‌های الکترودی قابل هدایت ارایه نمودند (شکل ۱، قسمت ج). طراحی چارچوب روش آن‌ها مبتنی بر کالیبراسیون الگوی آرایه‌های الکترودی بود که بر اساس راه ورودی مناسب و تحریک، برنامه‌ریزی می‌شود (۳۲).



شکل ۱. راهکار هدایت مغناطیسی (خطوط پهن قرمز رنگ آزادی سه‌گانه قابل کنترل را نشان می‌دهد) (۱۹) (الف)، دستگاه رباتیک برای وارد کردن الکترود به مدل اسکالا تیمپانی که در قسمت فوقانی قرار گرفته است (۲۲) (طراحی شده توسط نویسندگان مطالعه) (ب) و نمونه اولیه آرایه‌های الکترودی قابل کنترل؛ اندازه واقعی الکترود که به صورت سه بعدی خم شده است (شماره ۱) و آرایه الکترودی دو وجهی کوچک شده (شماره ۲) (۳۱)

http://jrrs.mui.ac.ir

این کار به منظور ارزیابی عملکرد کلی می‌باشد که ناهمخوانی شکل آرایه الکترودی و پیچ اسکالا تیمپانی را در سراسر روند ورود آرایه محدود می‌کند. هدف از این بهینه‌سازی، طراحی جایگزاری مناسب رشته تحریکی است که درون آرایه‌های الکترودی قرار می‌گیرد. تأیید اعتبار این رشته تحریکی توسط شبیه‌سازی و آزمایش‌ها انجام می‌شود. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که در صورت وجود مسیرهای چند جزیی پیچیده برای رشته تحریکی، عملکرد بهبود می‌یابد. مسیر خطی مناسب، عملکرد قابل ملاحظه‌ای را ارایه می‌کند و ساخت آرایه الکترودی را آسان می‌سازد.

دسترسی مستقیم به حلزون: دسترسی مستقیم به حلزون روشی کم‌تهاجم برای دسترسی به گوش داخلی می‌باشد. این روش شامل سوراخ کردن خط مسیری است که به صورت مستقیم از سطح استخوان گیجگاهی به سمت حلزون می‌رود و در این صورت، نیاز به ماستوئیدکتومی نیست.

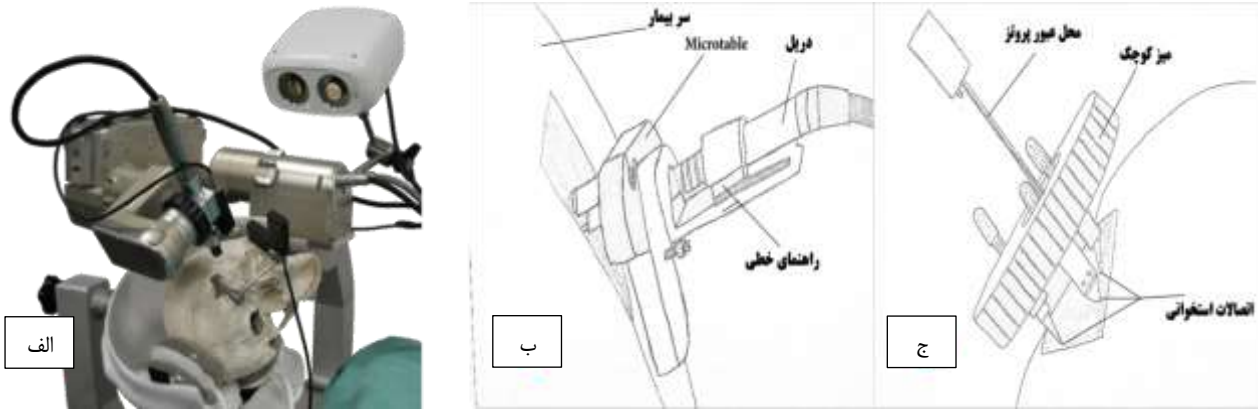
ماستوئیدکتومی روش کنونی دسترسی به گوش داخلی است که شامل ایجاد حفره‌ای بزرگ در ناحیه ماستوئید استخوان گیجگاهی می‌شود. این روش رباتیک، به جراح اجازه می‌دهد که ساختارهای حیاتی را هنگام دسترسی به حلزون، مجسم و حفاظت کند. تحقق روش تهاجم حداقلی، متوجه ضخامت الکترود کاشت حلزون (اغلب کمتر از ۱/۵ میلی‌متر) در مقایسه با اندازه حفره ایجاد شده توسط ماستوئیدکتومی می‌باشد (۳۳). Weber و همکاران، سیستمی رباتیک را برای جراحی کاشت حلزون کم‌تهاجم طراحی کردند (شکل ۲، قسمت الف) (۳۴).

بازوی رباتیک سبک وزن (۵/۵ کیلوگرم) با پنج درجه آزادی، می‌تواند به طور مستقیم بر روی نرده‌های کناری میز اتاق عمل نصب شود که این قسمت مربوط به محل استقرار ربات است. در این محل، سر فرد برای جلوگیری از حرکات ثابت می‌شود. سنسور گشتار نیرو در مچ رباط نصب می‌گردد که به این وسیله کنترل لامسه‌ای، ثبت نیمه اتوماتیک و ارزیابی متغیرهای روند سوراخ کردن، امکان‌پذیر می‌شود. امنیت روش رباتیک به وسیله تلفیق اطلاعات دریافت شده از سنسورهای دیگر شامل اطلاعات وضعیتی از ارتباط بین نیروی سوراخ کردن و تراکم استخوانی ماستوئید و همچنین، اطلاعات عملکردی از طریق نظارت بر عصب صورتی، به دست می‌آید.

دسترسی به حلزون، نیازمند سوراخ کردن نواحی مجاور با اعصاب تعبیه شده در استخوان، رگ‌های خونی و ساختارهای دیگری است که تخطی از هر یک از آن‌ها می‌تواند موجب بروز مشکلاتی برای فرد شود. به‌تازگی نشان داده شده است که ساختارهای استریوتاکتیک (فریم‌هایی مخصوص برای مکان‌یابی محل به خصوصی در جمجمه) کوچک می‌تواند به تصویربرداری از طریق پوست کمک کند که این موضوع باعث کاهش نیاز انسان به تجربه و هماهنگی چشم-دست و همچنین، کاهش آسیب می‌شود. با این حال، ایجاد ساختارهای استریواستاتیک کوچک کنونی، باعث از هم گسیختن گردش کار بالینی، تأخیر چند روزه در فرایند جراحی یا تماس با مرکز تعمیرات داخل یا خارج از بیمارستان می‌شود. Kratchman و همکاران نوع جدیدی از ساختار استریواستاتیک کوچک را معرفی نمودند که تأخیر نام‌برده شده و مشکلات درون ساختاری را به وسیله قابلیت جابه‌جایی مرتفع می‌کند (۳۵) (شکل ۲، قسمت ب). با الهام گرفتن از موفقیت در استفاده ربات‌های موازی متصل به استخوان در جراحی زانو و نخاع افراد نام‌برده شده، ساختار استریواستاتیک کوچکی که می‌تواند به صورت خودکار تصویربرداری کند را معرفی کردند. آزمایش‌ها صحت کارکرد مناسبی را در تست شبیه‌سازی حلزونی (به اندازه ۰/۰۷ ± ۰/۲۰ میلی‌متر) که شبیه به منحنی‌های حلزون انسان است، نشان داد. همچنین، آزمایشی بر روی حلزون مرده انجام دادند که به دقت ۰/۳۸ میلی‌متر دست یافتند.

دریل از سوراخ کوچکی بر روی پوست عبور می‌کند که این کار نیاز به بریدگی ندارد (۳۵).

Williamson و همکاران، سیستم رباتیک دیگری را برای دسترسی کم‌تهاجم به گوش داخلی معرفی کردند که یک ابزار سوراخ کننده کوچک برای ککلئوستومی مطمئن و مؤثر داشت. ارزیابی اولیه بر روی یک نمونه مرده انسانی صورت گرفت. دسترسی به گوش میانی از طریق طاقچه صورتی و بدون آسیب به ساختارهای آناتومیکی اطراف، با موفقیت انجام شد. ککلئوستومی طبق برنامه انجام گردید و همچنین، سلامت اندام‌های داخل جلدی با انجام ارزیابی میکروسکوپی مورد تأیید قرار گرفت (۱۹).



شکل ۲. سیستم رباتیک برای جراحی کاشت حلزون کم‌تهاجم (۳۳) (الف)، Microtable، ساختار استریواستاتیک و اتصالات استخوانی هنگام کاشت حلزون زیرپوستی نصب شده بر روی سر فرد (دریل از سوراخ کوچکی بر روی پوست عبور می‌کند که این کار نیاز به بریدگی ندارد) (۳۴) (طراحی شده توسط نویسندگان مطالعه) (ب) و Microtable، ساختاری استریواستاتیک که دریل جراحی را در مسیر مستقیمی که از طاقچه صورتی به حلزون عبور می‌کند، نگه می‌دارد. هر Microtable بر اساس تصویر سی‌تی اسکن ساخته می‌شود که اجزای دیگر بر روی آن سوار می‌شوند (۳۶) (طراحی شده توسط نویسندگان مطالعه) (ج)

http://jrrs.mui.ac.ir

جدول ۱. خلاصه و مقایسه سیستم‌های رباتیک برای عمل جراحی کاشت حلزون

مطالعه	هدف	مواد و ابزار	نتیجه
Clark و همکاران (۲۱)	طراحی سیستمی هدایت مغناطیسی که پروتز کاشت را به صورت مغناطیسی در هنگام ورود به حلزون هدایت می‌کند.	نمونه آزمایشگاهی اسکالا تیمپانی، پروتز کاشتی که نوک آن خاصیت مغناطیسی داشت و آهنربای دو قطبی بزرگ در نزدیکی سر بیمار جهت ایجاد نیروی گشتاور لازم برای هدایت مغناطیسی پروتز	کاهش ۵۰ درصدی نیروی وارد کننده پروتز، کاهش آسیب به حلزون هنگام ورود پروتز و ورود عمیق‌تر پروتز به داخل حلزون
Schurzig و همکاران (۲۴)	مقایسه نیروی ورودی در روش ورود مستقیم پروتز با روش AOS	چهار نمونه آزمایشگاهی اسکالا تیمپانی، سیستم رباتیک کاشت حلزون دارای سنسور نیرو و انجام عمل ورود به روش مستقیم و AOS	در ۷ میلی‌متر اول، نیرو در دو روش تا حدودی مشابه و برابر ۰/۰۰۶ نیوتن بود، اما از ۱۷-۷ میلی‌متر، در روش مستقیم نیرو ۰/۰۲۷ ± ۰/۰۴۶ و در روش AOS نیز ۰/۰۰۶ ± ۰/۰۰۸ محاسبه گردید.
Zhang و همکاران (۳۱)	کاهش آسیب به ساختارهای حلزون و به حداقل رساندن نیروی برهم‌کنش بین الکترود و حلزون	مطالعه‌ای آزمایشگاهی با استفاده از سیستم رباتیک و مقایسه نیروهای ورودی الکترود، در شرایط کنترل شده و کنترل نشده	در شرایط ورود کنترل شده، نیروی ورودی ۷۰ درصد کاهش یافت. همچنین، نیروی ورودی تنها به عدم تطابق حالت بین اسکالا تیمپانی و آرایه الکترودی ورودی وابسته نیست، بلکه به سرعت ورود نیز وابسته است.
Simaan و همکاران (۳۲)	طراحی آرایه‌های الکترودی قابل هدایت و محدود کردن ناهمخوانی شکل آرایه الکترودی و پیچ اسکالا تیمپانی، در سراسر روند ورود آرایه به داخل حلزون	آرایه متشکل از چندین رشته تحریکی، ربات دارای درجه آزادی برای جایگزاری مناسب آرایه درون حلزون و نمونه آزمایشگاهی حلزون گوش داخلی	در صورت وجود مسیرهای چند جزیی پیچیده برای رشته تحریکی، عملکرد بهبود می‌یابد. مسیر خطی مناسب، عملکرد قابل ملاحظه‌ای را ارایه می‌کند و ساخت آرایه الکترودی را آسان می‌سازد.
Weber و همکاران (۳۴)	کاهش تهاجم عمل جراحی از طریق جایگزین کردن روش تونل مستقیم (دسترسی مستقیم حلزون) با ماستوئیدکتومی مرسوم	انجام بر روی نمونه آزمایشگاهی و نمونه زنده انسانی، بازوی رباتیک سبک وزن (۵/۵ کیلوگرم) با ۵ درجه آزادی و قابلیت دریل نیمه اتوماتیک و بررسی متغیرهای روند سوراخ کردن و رباتی دیگر برای مانیتور کردن مسیر کلئوستومی و سنسور به منظور بررسی تراکم استخوانی و مانیتور کردن فعالیت عصب صورتی حین جراحی	استفاده هم‌زمان از ربات دسترسی مستقیم حلزون و ربات دستیار کلئوستومی می‌تواند به خوبی باعث کاهش تحاجم عمل جراحی و آسیب به گوش داخلی شود.
Kratchman و همکاران (۳۵)	ساخت ساختارهای استریوتاکتیک (فریم‌هایی مخصوص برای مکان‌یابی محلی به خصوص در جمجمه) با قابلیت جابه‌جایی برای عمل جراحی کاشت حلزون	ساختار استریواستاتیک کوچکی که می‌تواند به صورت خودکار تصویربرداری کند، رباتی که به موازات استخوان گیجگاهی نصب می‌شود، تست شبیه‌سازی حلزونی و آزمایشی بر روی حلزون مرده	استفاده هم‌زمان از ساختار استریواستاتیک و ربات موازی در روش PCI، تهاجم را کاهش می‌دهد و دقت کار را بالا می‌برد.
Williamson و همکاران (۱۹)	دسترسی کم‌تهاجم به گوش داخلی به وسیله ربات سوراخ کننده کوچک برای کلئوستومی مطمئن و مؤثر	یک نمونه مرده انسانی، رباتی که با ایجاد تونلی مستقیم از ماستوئید، دسترسی به گوش داخلی را آسان و کم‌تهاجم می‌کند و استفاده از روش AOS برای ورود الکترودها به درون حلزون	دسترسی به گوش میانی از میان طاقچه صورتی، بدون آسیب به اجزای آناتومیکی مجاور انجام گرفت. قرارگیری الکترودها نیز با حداقل آسیب ممکن انجام گرفت.

AOS: Advance off-stylet; PCI: percutaneous cochlear implantation

در پژوهش دیگری، Kratchman و همکاران دستگاه وارد کننده آرایه الکترودی را ابداع کردند که می‌تواند از سوراخ متهای که در کاشت حلزون زیرپوستی (Percutaneous cochlear implantation یا PCI) استفاده می‌شود، عبور کند. این دستگاه بر اساس سی‌تی اسکن گرفته شده قبل از عمل و به منظور اجرای صحیح تکنیک ورود AOS، تنظیم می‌شود. بنابراین، جراحی کاشت حلزون به دقت کمتری توسط جراح نیاز دارد. این افراد به صورت آزمایشی بر روی سه نمونه حلزون مرده، ورود به روش AOS را انجام دادند که در این موارد موفقیت روش انجام شده با استفاده از سی‌تی اسکن و کالبد شکافی به تأیید رسید (شکل ۲، قسمت ج) (۳۶).

خلاصه و مقایسه سیستم‌های رباتیک برای عمل جراحی کاشت حلزون در جدول ۱ آمده است.

بحث

بسیاری از اعمال جراحی، نیازمند رسیدن به بافت‌های عمیق درون بدن دارند که از آن جمله می‌توان به جراحی گلو، درون قلب و درون معده اشاره کرد. دسترسی کم‌تهاجم به این مناطق، سبب ایجاد محدودیت در طراحی ربات‌ها می‌شود. بیشتر مخترعان، ربات‌های هوشمند و پیوسته‌ای را برای حل این مشکلات ابداع می‌کنند. برخی از این طراحی‌ها شامل چندین بخش مینیاتوری هستند که به صورت زنجیره‌ای و پیوسته به هم متصل شده‌اند تا با استفاده از کوچکی اجزا و

http://jrrs.mui.ac.ir

اتصال آن‌ها، قابلیت انعطاف سیستم برای اهداف مختلف محقق شود.

برخی دیگر دارای اتصالات انعطاف‌پذیری می‌باشند که می‌تواند به عنوان مفصل عمل نماید. ساخت تعدادی از این ربات‌ها برای استفاده بالینی، چالش‌های متعددی را به همراه دارد که شامل طراحی بهینه، انتخاب احساسات مختلف مورد نیاز، طراحی مدل‌های حرکتی و جنبشی (حرکات درشت و ظریف)، نحوه برنامه‌ریزی و کنترل زمان واکنش است. با این حال، محققان به طراحی‌های اختصاصی برای یافتن راه‌حل چنین مشکلاتی علاقمند هستند.

با ایجاد تکنیک‌های کم‌تهاجم در اواخر سال ۱۹۸۰ میلادی، جراحان دیگر نیازی به جراحی با دست نداشتند. جراحی با حداقل تهاجم یا جراحی با حداقل دسترسی، انقلابی در فعالیت‌های جراحی بود. در جراحی کم‌تهاجم، ابزارهای جراحی و نظاره‌گر از طریق شکاف کوچکی وارد بدن می‌شوند. بازوهای مکانیکی بلند نیز با توجه به دستورالعمل راهنما برای این‌گونه جراحی‌ها استفاده می‌گردد. این روش‌ها باعث کاهش آسیب ناشی از شکاف‌های اضافی و بهبود سریع فرد می‌شود (۳۸، ۳۷).

این مطالعه به بررسی فواید استفاده از سیستم‌های رباتیک در جراحی کاشت حلزون پرداخت. اولین سیستم بررسی شده، هدایت مغناطیسی بود. اگر در حین عمل کاشت حلزون، پروتز برای ورود هدایت نشود، چالش اصلی ایجاد نیروی بازگشتی مکانیکی می‌باشد که به دیواره خارجی اسکالا تیمپانی فشار وارد می‌کند و در نتیجه، اصطکاک بین پروتز و دیواره زیاد می‌شود و نیروی ورودی افزایش می‌یابد. در هدایت مغناطیسی، اعمال نیروی گشتاور بر روی نوک پروتز کاشت حلزون، باعث خنثی شدن نیروی گشتاور بازگشتی می‌شود. اگر نیروی گشتاور مغناطیسی مناسب باشد، پروتز کاشت به طور کامل از دیواره نام‌برده شده فاصله می‌گیرد. حتی اگر نیرو مناسب نباشد، همین نیروی گشتاور مغناطیسی باعث کاهش ارتباط پروتز با دیواره خواهد شد. نتایج مطالعه Clark و همکاران نشان داد که نیروی ورودی در این روش حدود ۵۰ درصد کاهش می‌یابد و کاهش نیروی ورودی کارامد با استفاده از هدایت مغناطیسی ممکن می‌شود (۲۱).

دومین روش، ورود آرایه الکترودی قابل کنترل بود. در این مورد نتایج به روشنی نشان داد که استفاده از ربات کمک کننده در جراحی کاشت حلزون، به طور بالقوه می‌تواند آسیب به حلزون را کاهش دهد. روش ورود AOS در مقایسه با روش مرسوم، موجب کاهش میانگین و حداکثر نیروی ورودی می‌شود. در جراحی کاشت حلزون، نیروی ورودی کوچک برای جلوگیری از تروما در حین عمل جراحی، حیاتی می‌باشد. نیروی ورودی فقط با زاویه ورودی در ارتباط نیست، بلکه با سرعت ورود نیز ارتباط دارد.

سیستم دیگر مورد بررسی، دسترسی مستقیم به حلزون می‌باشد. کاشت حلزون با هدف تحریک مستقیم اعصاب شنوایی می‌تواند روش زمان‌بر و طاقت‌فرسایی باشد. در ابتدا جراح باید بخش بزرگی از ناحیه ماستوئید استخوان گیجگاهی قبل از رسیدن به طاقچه صورتی، ناحیه مربوط به عصب صورتی، کانال گوش خارجی و عصب کورداتیمپانی را سوراخ کند. این ساختارها قابل مشاهده هستند. دسترسی نهایی به گوش میانی با سوراخ کردن فضای میان ساختارهای نام‌برده شده امکان‌پذیر می‌باشد (این فضا اغلب ۳-۲ میلی‌متر پهنا دارد). در نهایت، جراح باید الکترود را از طریق این سوراخ به داخل حلزون هدایت کند (به صورت طبیعی از طریق دریچه گرد و یا ساختگی به صورت ککلئوستومی). تلفیق یک دریل کوچک با یک سیستم رباتیک، می‌تواند روش کم‌تهاجمی را ایجاد کند که با این کار از روش تهاجمی دسترسی به حلزون از طریق طاقچه صورتی و ککلئوستومی جلوگیری می‌شود. نتایج برخی مطالعات نشان می‌دهد که عکس‌برداری‌های دقیق در این رابطه بسیار کمک کننده است. پژوهش Labadie و همکاران بر روی ۸ نفر انجام شد و در ابتدا افراد تحت سی‌تی اسکن قبل از عمل قرار گرفتند تا بتوانند مسیر مستقیم عبور از طاقچه صورتی به سمت اسکالا تیمپانی را پیدا کنند. همچنین، در حین عمل سی‌تی اسکن دیگری گرفته شد. سپس فریم میکرواستریواستاتیک ساخته شد و به دریل جراحی متصل گردید. بعد از استریل کردن اجزا، تونلی به گوش میانی ایجاد شد و بعد از ککلئوستومی، آرایه الکترودی به درون حلزون هدایت گردید. آنان نتایج به دست آمده با این روش جراحی را با روش ماستوئیدکتومی مرسوم مقایسه نمودند و به این نتیجه رسیدند که کاشت حلزون با حداقل تهاجم و با استفاده از عکس‌های هدایتگر، به صورت بالینی قابل دستیابی است (۳۹).

به غیر از دستیابی مستقیم به حلزون، ککلئوستومی نیز از اهمیت بالایی برخوردار است. مطالعاتی در ارتباط با روش رباتیک ککلئوستومی وجود دارد. اسدی و همکاران تحقیقی را در ارتباط با مقایسه اختلالات درون حلزونی در روش سوراخ کردن مرسوم و ککلئوستومی رباتیک (دریل جراحی خودمختار) انجام دادند که هر روش بر روی ۳ نفر صورت گرفت. لرزش حاصل از دریل توسط میکروسکوپی با قابلیت ویبرومتر، بررسی شد. حداکثر لرزش در روش رباتیک ۱ درصد روش مرسوم بود و همچنین، غشای Endosteal نیز سالم باقی ماند (۴۰). پژوهش Brett و همکاران با موضوع ککلئوستومی رباتیک بر روی نمونه زنده انسانی انجام شد. آنان از ربات میکرودریل خودمختار که در هر دقیقه ۰/۵ میلی‌متر را سوراخ و با سرعت ۱۰ دور در ثانیه چرخش می‌کرد، استفاده نمودند. این ربات توانست بافت استخوانی حلزون را بدون آسیب به غشای Endosteal سوراخ کند (۴۱).

بررسی سیستم‌های نام‌برده شده نشان می‌دهد که به کارگیری سیستم‌های رباتیک در عمل کاشت حلزون، موجب کاهش نیروی ورودی پروتز کاشت، کاشت آسیب به گوش داخلی، کنترل و هدایت دقیق‌تر پروتز برای ورود به گوش داخلی و کاهش تهاجم عمل جراحی می‌شود. با داشتن مزیت‌های فوق، انتظار می‌رود که عوارض جانبی بعد از عمل کاهش یابد و پیامدهای شنوایی مورد انتظار به واسطه قرارگیری مناسب پروتز کاشت در گوش داخلی (ورود عمیق‌تر) و کاهش آسیب‌های احتمالی، بهبود پیدا کند.

از جمله پیامدهای ادیولوژیک مورد انتظار، دریافت مناسب سیگنال‌های صوتی فرکانس بالا و پایین می‌باشد. سیگنال‌های دارای فرکانس پایین در ناحیه رأسی حلزون، دریافت و عصب شنوایی را تحریک می‌کنند. این ناحیه برای درک طبیعی صدا لازم است. لازمه دسترسی به این ناحیه، آرایه الکترودی است که به قدر کافی بلند باشد. در عین حال، نازک بودن و قابلیت انعطاف آرایه الکترودی برای کاهش آسیب به ساختارهای حلزون مهم می‌باشد (۴۲). این سیستم‌های رباتیک منجر به ورود عمیق‌تر پروتز و در عین حال، آسیب کمتر به حلزون می‌شود. بنابراین، نتایج ادیولوژیک بهبود پیدا می‌کند و در نهایت، کیفیت صدا برای کاربر چه در محیط ساکت و هم در شرایط نویزی افزایش می‌یابد.

محدودیت‌ها

از جمله محدودیت‌های پژوهش حاضر می‌توان به عدم دسترسی یا دسترسی دشوار به متن کامل برخی مقالات اشاره نمود که با جستجوی دقیق و گسترده تا حد امکان رفع گردید. همچنین، عدم دریافت پاسخ از نویسندگان تعدادی از مقالات به منظور کسب اجازه جهت استفاده از تصاویر اصلی سیستم‌های

http://jrrs.mui.ac.ir

رباتیک، از چالش‌های اصلی این مطالعه بود.

پیشنهادها

پیشنهاد می‌شود به جای ماستوئیدکتومی از روش دسترسی مستقیم به حلزون (عکس‌برداری‌های مورد نیاز، ساخت فریم استریواستاتیک و ایجاد تونلی مستقیم به داخل گوش میانی)، به جای ککلئوستومی مرسوم از ربات‌های میکرودریل خودمختار و برای ورود آرایه الکترودی به داخل حلزون نیز از روش هدایت مغناطیسی یا AOS استفاده شود.

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، ربات‌ها در سه مرحله عمل کاشت حلزون کاربرد دارند که شامل «دسترسی مستقیم به حلزون، ککلئوستومی بدون ایجاد آسیب به بافت Endosteal حلزون گوش و هدایت کنترل شده آرایه الکترودی به داخل حلزون» می‌باشد. موارد اول و دوم تهاجم عمل جراحی را کاهش می‌دهند و مورد سوم موجب کاهش نیروی ورودی و آسیب داخل حلزونی می‌شود. در کل، این سیستم‌ها منجر به کاهش تهاجم و نیروی ورودی، ورود عمیق‌تر به حلزون به منظور بهبود عملکرد و کاهش آسیب‌های داخل حلزونی در حین عمل جراحی می‌گردد. در نهایت، قابلیت فهم گفتار در حضور نویز و کیفیت صدا افزایش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

بدین وسیله از خانم دکتر رضاییان، آقای دکتر Nabil Simaan، آقای دکتر Nicole Harris، جناب آقای Rosamund Greensted، تیم Wolters Kluwer و انجمن بین‌المللی اپتیک و فوتونیک به جهت راهنمایی‌های ارزنده و همکاری در انجام پژوهش، تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

نقش نویسندگان

علیرضا گلچین نامداری، طراحی و ایده‌پردازی مطالعه، جمع‌آوری اطلاعات، عادل غلامی‌نژاد، خدمات پشتیبانی و اجرایی و علمی مطالعه، تأیید نهایی دست‌نوشته جهت ارسال به دفتر مجله، سمیه فلاح‌زاده، تحلیل و تفسیر نتایج، ارزیابی تخصصی دست‌نوشته از نظر مفاهیم علمی را به عهده داشتند.

منابع مالی

دانشگاه علوم پزشکی اصفهان در جمع‌آوری داده‌ها، تحلیل و گزارش آن‌ها، تنظیم دست‌نوشته و تأیید نهایی مقاله جهت انتشار، اعمال نظری نداشته است.

تعارض منافع

نویسندگان دارای تعارض منافع نمی‌باشند. سمیه فلاح‌زاده عضو هیأت علمی گروه شنوایی‌شناسی دانشگاه علوم پزشکی اصفهان می‌باشد. عادل غلامی‌نژاد از سال ۱۳۹۲ دانشجوی مقطع کارشناسی شنوایی‌شناسی است. علیرضا گلچین نامداری نیز دانشجوی مقطع کارشناسی شنوایی‌شناسی ورودی سال ۱۳۹۲ دانشگاه علوم پزشکی زاهدان بود که در سال ۱۳۹۴ به دانشگاه علوم پزشکی اصفهان انتقال یافت.

References

1. Wilson BS, Finley CC, Lawson DT, Wolford RD, Eddington DK, Rabinowitz WM. Better speech recognition with cochlear implants. Nature 1991; 352(6332): 236-8.
2. McDermott HJ. Music perception with cochlear implants: a review. Trends Amplif 2004; 8(2): 49-82.
3. Ryugo DK, Kretzmer EA, Niparko JK. Restoration of auditory nerve synapses in cats by cochlear implants. Science 2005; 310(5753): 1490-2.
4. Clark GM. The multiple-channel cochlear implant: The interface between sound and the central nervous system for hearing, speech, and language in deaf people-a personal perspective. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci 2006; 361(1469): 791-810.
5. Majdani O, Rau TS, Baron S, Eilers H, Baier C, Heimann B, et al. A robot-guided minimally invasive approach for cochlear implant surgery: preliminary results of a temporal bone study. Int J Comput Assist Radiol Surg 2009; 4(5): 475-86.
6. Todd CA, Naghdy F, Svehla MJ. Force application during cochlear implant insertion: an analysis for improvement of surgeon technique. IEEE Trans Biomed Eng 2007; 54(7): 1247-55.
7. Gurbani SS, Wilkening P, Zhao M, Gonenc B, Cheon GW, Iordachita II, et al. Robot-assisted three-dimensional registration for cochlear implant surgery using a common-path swept-source optical coherence tomography probe. J Biomed Opt 2014; 19(5): 057004.
8. Erixon E, Hogstorp H, Wadin K, Rask-Andersen H. Variational anatomy of the human cochlea: implications for cochlear implantation. Otol Neurotol 2009; 30(1): 14-22.
9. Escude B, James C, Deguine O, Cochard N, Eter E, Fraysse B. The size of the cochlea and predictions of insertion depth angles for cochlear implant electrodes. Audiol Neurootol 2006; 11(Suppl 1): 27-33.
10. Kennedy DW. Multichannel intracochlear electrodes: Mechanism of insertion trauma. The Laryngoscope 1987; 97(1): 42-9.
11. Su WY, Marion MS, Hinojosa R, Matz GJ. Anatomical measurements of the cochlear aqueduct, round window membrane, round window niche, and facial recess. Laryngoscope 1982; 92(5): 483-6.
12. Hussong A, Rau T, Eilers H, Baron S, Heimann B, Leinung M, et al. Conception and design of an automated insertion tool for cochlear implants. Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc 2008; 2008: 5593-6.
13. Labadie RF, Chodhury P, Cetinkaya E, Balachandran R, Haynes DS, Fenlon MR, et al. Minimally invasive, image-guided, facial-recess approach to the middle ear: demonstration of the concept of percutaneous cochlear access in vitro. Otol Neurotol 2005; 26(4): 557-62.
14. Balachandran R, Mitchell JE, Blachon G, Noble JH, Dawant BM, Fitzpatrick JM, et al. Percutaneous cochlear implant drilling

via customized frames: an in vitro study. Otolaryngol Head Neck Surg 2010; 142(3): 421-6.
15. Labadie RF, Mitchell J, Balachandran R, Fitzpatrick JM. Customized, rapid-production microstereotactic table for surgical targeting: description of concept and in vitro validation. Int J Comput Assist Radiol Surg 2009; 4(3): 273-80.
16. Klenzner T, Ngan CC, Knapp FB, Knoop H, Kromeier J, Aschendorff A, et al. New strategies for high precision surgery of the temporal bone using a robotic approach for cochlear implantation. Eur Arch Otorhinolaryngol 2009; 266(7): 955-60.
17. Baron S, Eilers H, Munske B, Toennies JL, Balachandran R, Labadie RF, et al. Percutaneous inner-ear access via an image-guided industrial robot system. Proc Inst Mech Eng H 2010; 224(5): 633-49.
18. Badaan SR, Stoianovici D. Robotic systems: Past, present, and future. In: Hemal AK, Menon M, editors. Robotics in genitourinary surgery. London, UK: Springer London; 2011. p. 655-65.
19. Williamson T, Du X, Bell B, Coulson C, Caversaccio M, Proops D, et al. Mechatronic feasibility of minimally invasive, atraumatic cochleostomy. Biomed Res Int 2014; 2014: 181624.
20. Maghribi M, Krulevitch P, Davidson J, Hamilton J. Implantable devices using magnetic guidance (Publication Number: US20060052656 A1). 2006. [Patents].
21. Clark JR, Leon L, Warren FM, Abbott JJ. Investigation of magnetic guidance of cochlear implants. Proceedings of the 2011 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems; 2011 Sep 25-30; San Francisco, CA, USA. p. 1321-6.
22. Clark JR, Warren FM, Abbott JJ. A Scalable Model for Human Scala-Tympani Phantoms. Journal of Medical Devices 2011; 5(1): 014501-5.
23. Roland JT, Jr. A model for cochlear implant electrode insertion and force evaluation: results with a new electrode design and insertion technique. Laryngoscope 2005; 115(8): 1325-39.
24. Schurzig D, Webster RJ 3rd, Dietrich MS, Labadie RF. Force of cochlear implant electrode insertion performed by a robotic insertion tool: comparison of traditional versus Advance Off-Stylet techniques. Otol Neurotol 2010; 31(8): 1207-10.
25. Zhang J, Roland J, Manolidis S, Simaan N. Optimal Path planning for robotic insertion of steerable electrode arrays in cochlear implant surgery. J Med Devices 2008; 3(1): 011001.
26. Zhang J, Wei W, Ding J, Roland JT, Jr., Manolidis S, Simaan N. Inroads toward robot-assisted cochlear implant surgery using steerable electrode arrays. Otol Neurotol 2010; 31(8): 1199-206.
27. Majdani O, Schurzig D, Hussong A, Rau T, Wittkopf J, Lenarz T, et al. Force measurement of insertion of cochlear implant electrode arrays in vitro: comparison of surgeon to automated insertion tool. Acta Otolaryngol 2010; 130(1): 31-6.
28. Hussong A, Rau TS, Ortmaier T, Heimann B, Lenarz T, Majdani O. An automated insertion tool for cochlear implants: another step towards atraumatic cochlear implant surgery. Int J Comput Assist Radiol Surg 2010; 5(2): 163-71.
29. Rau TS, Hussong A, Leinung M, Lenarz T, Majdani O. Automated insertion of preformed cochlear implant electrodes: evaluation of curling behaviour and insertion forces on an artificial cochlear model. Int J Comput Assist Radiol Surg 2010; 5(2): 173-81.
30. Schurzig D, Labadie RF, Hussong A, Rau TS, Webster RJ. A force sensing Automated Insertion Tool for cochlear electrode implantation. Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Automation; 2010 May 3-8; Anchorage, Alaska. p. 3674-9.
31. Zhang J, Bhattacharyya S, Simaan N. Model and parameter identification of friction during robotic insertion of cochlear-implant electrode arrays. Proceedings of the 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation; 2009 May 12-17; Kobe, Japan. p. 3859-64.
32. Simaan N, Zhang J, Roland JT, Manolidi S. Steerable continuum robot design for cochlear implant surgery. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation Workshop on Snakes, Worms and Catheters: Continuum and Serpentine Robots for Minimally Invasive Surgery; 2010 May 3; Anchorage, USA.
33. Schipper J, Aschendorff A, Arapakis I, Klenzner T, Teszler CB, Ridder GJ, et al. Navigation as a quality management tool in cochlear implant surgery. J Laryngol Otol 2004; 118(10): 764-70.
34. Weber S, Bell B, Gerber N, Williamson T, Brett P, Du X, et al. Minimally invasive, robot assisted cochlear implantation. Proceedings of the 3rd Joint Workshop on New Technologies for Computer/Robot Assisted Surgery (CRAS 2013); 2013 Sep 11-13; Verona, Italy.
35. Kratchman LB, Blachon GS, Withrow TJ, Balachandran R, Labadie RF, Webster RJ 3rd. Design of a bone-attached parallel robot for percutaneous cochlear implantation. IEEE Trans Biomed Eng 2011; 58(10): 2904-10.
36. Kratchman LB, Schurzig D, McRackan TR, Balachandran R, Noble JH, Webster RJ 3rd, et al. A manually operated, advance off-stylet insertion tool for minimally invasive cochlear implantation surgery. IEEE Trans Biomed Eng 2012; 59(10): 2792-800.
37. Diodato MD, Jr., Damiano RJ, Jr. Robotic cardiac surgery: Overview. Surg Clin North Am 2003; 83(6): 1351-67, ix.
38. Falk V, Diegler A, Walther T, Autschbach R, Mohr FW. Developments in robotic cardiac surgery. Curr Opin Cardiol 2000; 15(6): 378-87.
39. Labadie RF, Balachandran R, Noble JH, Blachon GS, Mitchell JE, Reda FA, et al. Minimally invasive image-guided cochlear implantation surgery: first report of clinical implementation. Laryngoscope 2014; 124(8): 1915-22.
40. Assadi MZ, Du X, Dalton J, Henshaw S, Coulson CJ, Reid AP, et al. Comparison on intracochlear disturbances between drilling a manual and robotic cochleostomy. Proc Inst Mech Eng H 2013; 227(9): 1002-8.
41. Brett PN, Taylor RP, Proops D, Coulson C, Reid A, Griffiths MV. A surgical robot for cochleostomy. Proceedings of the 29th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society; 2007 Aug 23-26; Lyon, France. p. 1229-32.
42. Hochmair I, Hochmair E, Nopp P, Waller M, Jolly C. Deep electrode insertion and sound coding in cochlear implants. Hear Res 2015; 322: 14-23.

DOI: 10.22122/jrrs.v13i1.2789 Published by Vesnu Publications

Efficiency of Assistant Robots in Cochlear Implant Surgery: A Systematic Review

Alireza Golchin-Namdari[1], Somayeh Falahzadeh[2], Adel Gholami-Nezhad[1]

Review Article

Abstract

Introduction: Cochlear implant (CI) surgery is an invasive procedure in order to create hearing sense. This procedure may cause some risks such as cochlear damage. Therefore, it is needed to reduce these risks as much as possible. Future CIs will address three general goals: 1) reducing cochlear damage during surgical insertion, 2) more efficient operation that reduces the load of electrical stimulation required to produce appropriate loudness, and 3) deeper insertion into the scala tympany (ST) cavity in order to access cochlear neurons related to lower frequencies. In order to achieve these goals, we need high degree of precision to which the use of an assistant robot in surgery might be a good solution. The aim of this study was to assess the efficiency of the robotic systems in the cochlear implant surgery.

Materials and Methods: Published research was identified by reviewing the scientific databases (Pubmed, ScienceDirect and Google Scholar) from 1980 to 2017 using relevant keywords. The researches were selected based on the input and output criteria.

Results: This study focused on three robotic systems. One of the robotic systems acts as a magnetic guide. This system uses a magnetically tipped CI to insert into the cochlea and also rotating manipulator magnet as a magnetic guide that is located near the patient's head. The other robotic system determines the changes of the insertion angle of the electrode array into the cochlea by controlled electrode arrays insertion. The last robotic system reduces the invasiveness of the surgery by removing the need for mastoidectomy, replacing this with a direct tunnel approach known as direct cochlear access.

Conclusion: These systems reduce the energy needed for the insertion of the electrode array, enable a deeper insertion into the cochlea in order to have an improved performance in CI, and reduce intracochlear damage during surgery. Therefore, both speech understanding in noise and sound quality will improve.

Keywords: Cochlear implant, Minimally invasive, Robot-assisted surgery

Citation: Golchin-Namdari A, Falahzadeh S, Gholami-Nezhad A. **Efficiency of Assistant Robots in Cochlear Implant Surgery: A Systematic Review.** J Res Rehabil Sci 2017; 13(1): 51-9.

Received: 05.12.2016 Accepted: 05.03.2017

1- BSc Student, Student Research Committee (Treata), Department of Audiology, School of Rehabilitation Sciences, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
2- Instructor, Department of Audiology, School of Rehabilitation Sciences, Isfahan University of Medical Sciences, Isfahan, Iran
Corresponding Author: Somayeh Falahzadeh, Email: sofaaudiology@gmail.com