

UNIVERSITÀ
DEGLI STUDI
DI PADOVA

1222 • 2022
800
ANNI

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI PADOVA

Corso di Laurea Magistrale a ciclo unico in Medicina e Chirurgia

DIPARTIMENTO DI SALUTE DELLA DONNA E DEL BAMBINO

Direttore: Prof. Eugenio Baraldi

UOC Chirurgia Pediatrica

Direttore: Prof. Piergiorgio Gamba

TESI DI LAUREA

Validazione di una piattaforma di simulazione per la chirurgia microvascolare: studio pilota nel training in Chirurgia Pediatrica.

Relatore: Prof. Francesco Fascetti Leon

Correlatore: Dott. Andrea Volpe

Laureando: Gianni Di Lecce

Anno Accademico 2021/2022

INDICE

1. ABSTRACT	1
2.INTRODUZIONE.....	5
2.1 Simulazione in Chirurgia.....	5
2.1.1 Fedeltà del simulatore	6
2.1.2 Tipologie di simulatori	7
2.1.3 Funzioni della simulazione	11
2.1.4 Assessment	12
2.2 Microchirurgia	13
2.2.1 La storia della microchirurgia	13
2.2.2 Mezzi ottici e strumentario	14
2.2.3 Tecniche Anastomosi Termine-terminale su vasi.....	17
2.2.4 Utilizzi della microchirurgia	20
2.2.5 Utilizzi della microchirurgia in Chirurgia Pediatrica	22
2.3 Training in Microchirurgia	27
2.4 Il metodo di apprendimento e la Learning Curve	28
2.5 La Learning Curve	28
2.6 Assessment nel Training microchirurgico	31
3.SCOPO DELLO STUDIO.....	40
4.MATERIALI E METODI	41
4.1 La piattaforma didattica.....	41
4.2 I vasi artificiali e strumenti chirurgici	42
4.3 Ambiente della simulazione.....	44
4.4 Fasi dello studio.....	44
4.5 Assessment semiquantitativo	46
4.6 Analisi della mobilità delle mani.....	47
4.7 Questionario di gradimento.....	48
4.8 Analisi statistica	49
5. RISULTATI	50
5.1 Descrizione dei candidati	50
5.2 Descrizione delle variabili valutate.....	51
5.3 Score semiquantitativo	53

5.4 Dati quantitativi	54
5.5 Questionario di gradimento	55
6. DISCUSSIONE.....	58
6.1 Descrizione performance	58
6.2 Analisi semiquantitativa.....	59
6.3 Analisi dati quantitativi	60
6.4 Questionario di gradimento	62
7. CONCLUSIONI.....	66
Bibliografia	67

1. ABSTRACT

Introduzione

L'utilizzo delle simulazioni nella formazione medica, in particolare chirurgica, è sempre più comune, vista la crescente richiesta di competenze specifiche. Le simulazioni non sostituiscono il training chirurgico, ma forniscono un aiuto nell'apprendimento e nel perfezionamento di tecniche; inoltre permettono di creare un ambiente controllato e sicuro, in cui gli allievi possono concentrarsi, acquisire esperienza, sbagliare e ripetere i passaggi più delicati senza il rischio di arrecare danni o generare complicanze ai pazienti. L'apprendimento e la progressione delle abilità chirurgiche sono, inoltre, facilitati dalla possibilità di ricevere una valutazione da parte del simulatore. La microchirurgia è una sub-specialità chirurgica, trasversale a diversi distretti anatomici e ambiti specialistici, caratterizzata da una strumentazione ed una tecnica complessa che richiedono una formazione dedicata. In Chirurgia Pediatrica, le tecniche microchirurgiche si applicano alla chirurgia neonatale, vascolare, delle vie biliari, urologiche e dei trapianti. Da qui nasce l'interesse per una piattaforma di simulazione microchirurgica flessibile, che possa essere adattata a diverse tipologie di esercitazione, con associato un sistema di valutazione che permetta agli allievi di ottenere un feedback oggettivo e tenere traccia di errori e progressione del training.

Scopo dello studio

L'obiettivo di questo studio è validare l'efficacia dell'utilizzo di una piattaforma di simulazione di microchirurgia "Trainer NeuroVascolare Avanzato" nella progressione delle abilità chirurgiche di medici in formazione specialistica in Chirurgia Pediatrica.

Metodi

18 medici in formazione specialistica hanno eseguito un esercizio di venotomia e riparazione in punti staccati su vaso artificiale mediante la piattaforma di simulazione "trainer NeuroVascolare Avanzato". L'esercizio è stato ripetuto a

distanza di 10 giorni e l'abilità chirurgica dei candidati è stata confrontata tra le due prove mediante uno score semiquantitativo che ha tenuto in considerazione il successo nel completamento dell'esercizio, la correttezza dell'esecuzione delle suture, il tempo di esecuzione. È stata inoltre eseguita un'analisi della meccanica del movimento degli strumenti attraverso un software di "Motion tracking", mediante il software "Tracker Video Analysis and Modeling Tool".

Risultati

L'abilità chirurgia dei candidati valutata secondo lo score semiquantitativo è incrementata significativamente al completamento del secondo esercizio. In particolare, si è osservato un incremento significativo della simmetria delle suture ed una riduzione dei tempi di esecuzione. Lo score di performance creato considera gli errori, il tempo di esecuzione del task e i goals prestabiliti. Si osserva un generale aumento dello score tra le due prove, che risulta statisticamente significativo ($p < 0.05$). La correlazione tra la somma di accomplishments svolti nelle due sessioni è significativa ($p < 0.05$). In generale si ha una diminuzione del tempo di esecuzione del task tra le due prove (prova 0: $8'34'' \pm 3'37''$, prova 1: $7'1.'' \pm 2'2''$). L'analisi di "motion tracking" non ha permesso di osservare differenze significative al confronto delle due prove.

Conclusione

L'utilizzo della piattaforma di simulazione "Trainer NeuroVascolare Avanzato" per esercizi di sutura microvascolare si è dimostrato utile nella progressione delle abilità chirurgiche dei medici in formazione specialistica in Chirurgia Pediatrica. Lo studio degli esercizi di simulazione e dei metodi di valutazione rappresentano le basi per un'ulteriore implementazione della simulazione microchirurgica in Chirurgia Pediatrica.

ABSTRACT

Background

The use of simulations in medical training, particularly in the surgical training, is increasingly common, given the growing demand of specific skills. Simulations do not replace surgical training, but they provide an aid in learning and refining techniques; they also create a controlled and safe environment in which trainees can concentrate, gain experience, make mistakes and repeat delicate steps without the risk of causing harm or generating complications for patients. Learning of surgical skills is, moreover, facilitated by the possibility of receiving a feedback by the simulator. Microsurgery is a surgical subspecialty that cuts across several anatomical districts and specialty areas, characterized by complex instrumentation and technique that require dedicated training. In Pediatric Surgery, microsurgical techniques are applied to neonatal, vascular, biliary tract, urologic, and transplantation surgery. Hence, we are interested in a flexible microsurgical simulation platform that can be adapted to different types of practice, with an associated evaluation system that allows trainees to obtain objective feedback and keep track of errors and training progression.

Aim of the study

The objective of this study is to validate the effectiveness of microsurgery simulation platform "Advanced NeuroVascular Trainer" in the progression of surgical skills of residency training in Pediatric Surgery.

Methods

18 candidates including medical students and residents used a microsurgery simulation platform "Advanced NeuroVascular Trainer" to perform a chosen task. The participants performed two simulation sessions 10 days apart. The exercise consisted of a venotomy on an artificial vessel and packing 3 detached stitches. Microsurgical skills were assessed in the two trials through the creation of a performance score and hand movement analysis. The latter analysis is made possible by reading the movement of pins applied on the microsurgical instruments via software "Tracker Video Analysis and Modeling Tool."

Results

The surgical skill of the candidates assessed according to the semiquantitative score increased significantly upon completion of the second exercise. In particular, a significant increase in suture symmetry and a reduction in execution time were observed. The performance score created considers errors, task execution time and predetermined goals. There is a general increase in the score between the two tests, which is statistically significant ($p < 0.05$). The correlation between the sum of accomplishments performed in the two sessions is significant ($p < 0.05$). In general, there is a decrease in task execution time between the two trials (trial 0: $8'34'' \pm 3'37''$, trial 1: $7'1.'' \pm 2'2''$). The "motion tracking" analysis did not observe significant differences when comparing the two trials.

Conclusion

The qualitative score showed an improved performance and thus, enhancement of microsurgery skills. The analysis of hand mobility needs more study. The simulation platform "Advanced NeuroVascular Trainer" proved to be a valuable tool for microsurgery skill attainment.

2.INTRODUZIONE

2.1 Simulazione in Chirurgia

La formazione in ambito chirurgico è tradizionalmente basata su percorsi in cui l'allievo affronta fasi successive di osservazione, affiancamento e pratica sotto supervisione.

Diverse circostanze come l'introduzione dell'European Working Time e la riduzione della durata dei training, hanno determinato una redistribuzione della durata dei tirocini e quindi una minore possibilità di acquisire skills. Il risultato di questi cambiamenti è la mancanza di una omogeneità nell'apprendimento.¹

Gli avanzamenti in ambito tecnologico dell'ultimo decennio hanno determinato invece una rivoluzione sia nella pratica clinica che in quella chirurgica.

L'introduzione della chirurgia mininvasiva, delle procedure computer-assistite e video-assistite nell'attività medica richiedono professionisti esperti in attività complesse e di alto livello qualitativo. La risposta alla richiesta di alte competenze arriva con l'introduzione delle simulazioni nella formazione medica.

La medicina si è sempre avvalsa di strumenti di simulazione come la chirurgia su cadaveri, le dissezioni anatomiche, o la stessa pratica sul paziente. L'etica e la tutela della sicurezza, della dignità del paziente e dei lavoratori hanno imposto la ricerca di soluzioni di apprendimento più sicure e che potessero ugualmente fornire una massima efficacia formativa.

La Safe Surgery è un approccio moderno al rapporto medico-paziente, proposto inizialmente negli Stati Uniti e sviluppatosi in seguito in tutto il mondo. Affinché la chirurgia possa essere definita "sicura", il chirurgo deve avere una sufficiente esperienza clinica e chirurgica, per evitare che si utilizzi il paziente come mero strumento di esercizio, si ricorre alle simulazioni su modelli artificiali o animali fino all'acquisizione di una sufficiente autonomia e destrezza con la tecnica chirurgica.

Le simulazioni permettono di creare un ambiente controllato e sicuro in cui gli allievi possono concentrarsi, fare pratica, sbagliare ed imparare. Sono disponibili sul mercato già numerosi simulatori orientati a diversi ambiti specialistici. Con

l'ausilio della tecnologia si cerca di creare simulatori che siano il più possibile fedeli alla realtà clinica.^{2,3}

È importante distinguere il termine "simulatore" che rappresenta l'equipaggiamento (hardware o software nel caso di simulazioni virtuali) dal termine "simulazione" che descrive l'evento di formazione clinica e che può o meno includere un simulatore.

2.1.1 Fedeltà del simulatore

La fedeltà di una simulazione è la sua capacità di riprodurre un sistema nel modo più reale possibile. Miller è stato il primo ad averla descritta in due tipi:

- Fisica o ingegneristica, quando rappresenta la capacità di replicare le caratteristiche fisiche di un compito o evento. In genere un aumento della fedeltà fisica determina un aumento dei costi del simulatore.
- Psicologica, quando rappresenta la capacità di simulare un compito o evento e di renderne reale l'esperienza per il trainee.

Nessun simulatore riesce a riprodurre alla perfezione le condizioni che si presentano in una sala operatoria o in un reparto ospedaliero, né si sostituisce alla pratica clinica e chirurgica. Il simulatore, tuttavia, è progettato per cercare di avvicinarsi il più possibile alla realtà aumentando i livelli di fedeltà tattile e visuale.

La fedeltà psicologica, che è più importante di quella fisica secondo Maran e Glavin, si può ottenere anche con simulatori semplici ricreando il vero ambiente clinico.³

Il livello di fedeltà richiesto da ciascuna simulazione dipende dal compito da eseguire e dal livello di abilità dei candidati.

Le simulazioni devono essere considerate un aiuto alla formazione del chirurgo. (Fig.1)

La formazione basata sul loro utilizzo comunemente avviene prima del training clinico: ciò permette ai chirurghi di arrivare in sala operatoria con già un primo grado di preparazione.⁴

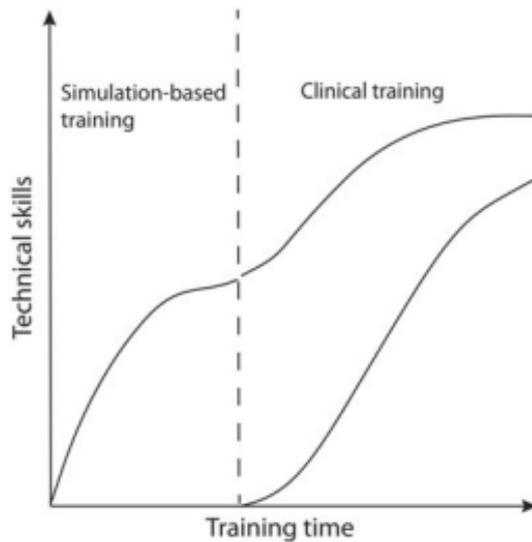


Fig.1 Bjerrum F, Thomsen ASS, Nayahangan LJ, Konge L. Surgical simulation: Current practices and future perspectives for technical skills training. *Medical Teacher*

2.1.2 Tipologie di simulatori

Esistono diverse tipologie di simulatori, classificati in base al materiale di cui sono composti e alla complessità delle abilità simulate. (Fig. 2)

Simulatori Sintetici

I simulatori sintetici sono modelli di plastica, gomma o lattice. Sono utilizzati nell'apprendimento delle tecniche chirurgiche di base e permettono lo sviluppo della coordinazione mano-occhio.

I simulatori a bassa fedeltà sono utilizzati per l'apprendimento di tecniche di base di sutura mentre con quelli ad alta fedeltà si possono imparare procedure complesse come suture vascolari ed anastomosi, ad esempio nel training per la riparazione di aneurismi o confezionamento di bypass.⁵

I simulatori a bassa fedeltà sono costruiti con materiali sintetici che imitano la realtà in modo semplificato, tralasciando i dettagli che rendono complesso uno scenario reale. I modelli che possono essere situati su un tavolo davanti il soggetto in training consistono in simulatori per chirurgia open o minimamente invasiva.

Un esempio è il simulatore laparoscopico pediatrico (PLS), che è stato sviluppato a Toronto da Azzie (cit.) ed è stato validato per il miglioramento di abilità chirurgiche laparoscopiche in spazi ridotti come il torace o addome pediatrico.

I simulatori ibridi sono stati sviluppati per incrementare il grado di complessità dello scenario chirurgico, sono costruiti con materiale sintetico associato a tessuti biologici. Essi possono essere utilizzati da chirurghi in formazione più esperti in procedure più avanzate come la pilorotomia laparoscopica, la riparazione dell'ernia diaframmatica, dell'atresia duodenale ed esofagea e lobectomia laparoscopica.

Simulatori Elettronici

I simulatori elettronici utilizzano un sistema combinato di software e hardware per ricreare uno scenario di interesse medico o chirurgico, attraverso la realtà virtuale (VR). Sono dei modelli molto popolari per la loro alta fedeltà e alta risposta tattile.

La realtà virtuale, secondo Moorthy et al, consiste in un insieme di tecnologie che permettono di interagire in database tridimensionali deformabili utilizzando i sensi e le proprie abilità. I simulatori a realtà virtuale generano scenari di chirurgia video assistita o endoscopia in modo dinamico, variando le risposte dello scenario alle azioni dell'allievo e sottoponendolo, ad esempio, ad eventi come sanguinamenti intraoperatori o altre complicanze.^{7,8}

Con il rapido sviluppo della tecnologia, le tecniche di insegnamento e apprendimento cambiano. La realtà virtuale è un uno strumento che è sempre più richiesto ed utilizzato nel training in microchirurgia perché è risk-free e può essere utilizzato infinite volte. Quest'ultima garantisce un feedback immediato e affidabile e non ha ripercussioni etiche poiché non utilizza materiale animale o umano⁹

Simulatori Organici – Modelli animali

I simulatori animali permettono un'attività di "squadra", quindi la presenza di più operatori per completare lo stesso task. Possono essere utilizzati in procedure laparoscopiche e open. Nonostante l'utilizzo di animali nelle simulazioni chirurgiche provveda un alto riscontro tattile, il costo è molto alto per l'utilizzo dell'anestesia e del monitoraggio intraoperatorio.

Simulatori Organici - Cadaveri

L'utilizzo di cadaveri come simulatori permette di acquisire una conoscenza totale dell'anatomia umana. La conservazione dei cadaveri in formalina determina una diminuzione della fedeltà del simulatore. Le risorse sono limitate per cui i costi sono molto alti.^{5,10}

Simulatori ibridi

Sono dei simulatori costituiti da una parte elettronica e da una parte fisica.¹¹

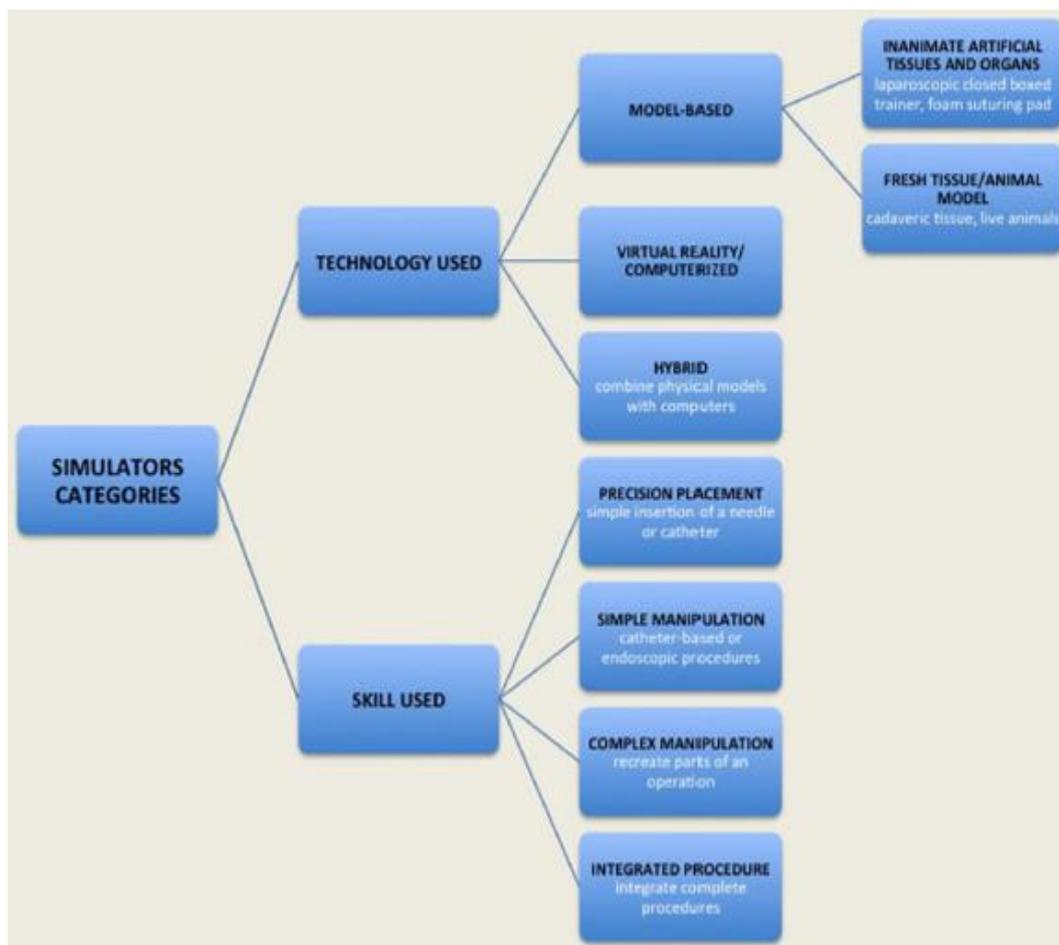


Fig. 2 Evgeniou E, Loizou P. Simulation-based surgical education. *ANZ Journal of Surgery*.

La tabella 1 confronta le caratteristiche dei diversi simulatori.¹²

Table 1. Summary of evidence for various skill training models

	Task fidelity	Skill transfer	Validity	Reliability
Live animals	++/-	-	-	-
<i>Ex vivo</i> tissue	+	+/-	-	-
Cadavers	++/-	-	-	-
Synthetic models	+	+/-	+	+
Mannequins	+/-	+/-	-	-
Computer-based instruction	-	-/+	-	-
Virtual reality simulators	+	++	++	++

++, good experimental evidence; -, no experimental evidence; +, some experimental evidence; +/-, there is evidence for some applications but not others, or evidence is equivocal.

Tab.1 Cosman P, Hemli JM, Ellis AM, Hugh TJ. Learning the surgical craft: A review of skills training options

Il massimo fattore per considerare utile o meno una particolare strategia di apprendimento è l'utilità delle abilità imparate e sviluppate in ambiente lavorativo e quindi se avviene un trasferimento di abilità dall'ambiente di simulazione a quello clinico.

I metodi di apprendimento che permettono di valutare le skills dei candidati, devono essere validi, cioè in grado di valutare l'abilità insegnata, e affidabili cioè garantiscono una ottima riproducibilità e solidità dell'assessment.¹²

2.1.3 Funzioni della simulazione

Le simulazioni possono coinvolgere tutte le figure che si possono trovare in un reparto ospedaliero: dagli studenti di Medicina e Chirurgia o Scienze Infermieristiche, ai chirurghi che desiderano ampliare le proprie conoscenze e le proprie abilità in campo clinico e chirurgico.

Le simulazioni hanno tre funzioni: funzione d'educazione, di training e di valutazione delle abilità.

Il *potere educativo* delle simulazioni è sfruttato al massimo dagli studenti per apprendere manovre semeiologiche di base come ad esempio l'esame obiettivo generale e l'esame rettale.

La funzione di *training* è rivolta ai medici in formazione specialistica che, rispetto agli studenti, hanno necessità formative differenti: richiedono simulazioni per mettere in pratica le nozioni teoriche apprese durante la fase precedente della loro formazione, a tal fine ripetono sul simulatore atti chirurgici semplificati o complessi al fine di ottenere più esperienza e manualità.

Le procedure chirurgiche oggetto di esercitazione da parte dei medici in formazione specialistica possono essere il confezionamento di anastomosi intestinali e vascolari, i nodi intra ed extracorporei, il posizionamento di materiale protesico e degli accessi laparoscopici.

I chirurghi che desiderano ampliare il proprio patrimonio di tecniche chirurgiche seguono spesso corsi e congressi poiché offrono numerose possibilità per confrontarsi e studiare nuovi strumenti e tecnologie: per questo tipo di operatori

è meno importante la simulazione di per sé poiché già formati da un punto di vista tecnico, quanto più la possibilità di interagire con un mentore esperto.²

Nella simulazione l'*assessment* delle abilità è possibile grazie a diversi strumenti che riescono a valutare oggettivamente la performance. Molte specializzazioni mediche hanno implementato la formazione e la valutazione simulation-based per fornire un maggior bagaglio di competenze ai propri medici in formazione specialistica. Uno degli strumenti più utilizzati nella valutazione delle competenze chirurgiche acquisite è L'OSATS score.⁵

2.1.4 Assessment

Il contributo delle simulazioni nella formazione del personale sanitario è prezioso poiché in grado di influenzare positivamente la curva di apprendimento fornendo feedback, crescenti livelli di difficoltà, varie strategie di apprendimento, un ambiente controllabile e un apprendimento individualizzato.³

Le aziende che sviluppano materiale didattico producono un'ampia gamma di simulatori. Si possono utilizzare materiali artificiali per ricreare organi realistici o materiali biologici, come quelli che provengono dalla macellazione degli animali per l'alimentazione umana. Per eseguire una simulazione più possibile veritiera e vicina alla realtà, e quindi fedele, bisogna disporre di strumenti chirurgici e di fili da sutura adatti.

La formazione basata sulle simulazioni determina un aumento della sicurezza e della competenza, riduce i rischi dei pazienti e degli allievi, e permette una diminuzione dei costi della sanità.

La simulazione è una metodologia attiva di apprendimento perché implica l'osservazione da parte del trainee ma anche la sua partecipazione attiva. Quest'ultima permette di avere un apprendimento efficace.¹³

2.2 Microchirurgia

2.2.1 La storia della microchirurgia

Il termine microchirurgia è utilizzato per descrivere tecniche chirurgiche che richiedono strumenti di magnificazione e specifici strumenti.

Il termine “Microchirurgia” è stato coniato da un chirurgo vascolare americano nel 1960, Jules Jacobson, che eseguì la prima anastomosi su un vaso di calibro inferiore a 1,4mm utilizzando un filo da sutura 7/0 e un microscopio da otorinolaringoiatria.

Le scoperte che gettarono le basi della microchirurgia sono tre:

- Nel 1902 Carrel descrisse la tecnica della triangolazione
- Nel 1906 McLean scoprì l'eparina
- Microscopio monoculare

La sperimentazione della microchirurgia avveniva nei laboratori mentre nella clinica la microchirurgia era utilizzata per casi altrimenti insolubili come le amputazioni traumatiche.

Buncke, definito il padre fondatore della microchirurgia, fu il primo ad eseguire una microanastomosi su un vaso di diametro inferiore ad 1mm. Aveva assemblato i primi fili di sutura microchirurgici e aveva costruito i primi strumenti per microchirurgia.

La microchirurgia nervosa si sviluppò nel 1972 con Millesi e nel 1980 Brunelli descrisse la tecnica di neurotizzazione muscolare diretta. Nel 1976 Taylor e Ham attuarono il primo innesto nervoso vascularizzato. Il primo trapianto di arto in Italia avvenne nel 1973 con Brunelli.

Altri pilastri della microchirurgia sono la fondazione della International Microsurgery Society nel 1970 e nel 1978 il Club Italiano di Microchirurgia, diventato successivamente la Società Italiana di Microchirurgia (SIM).

Progressi che hanno dato un ulteriore slancio alla microchirurgia sono i lembi perforanti, il supramicrosurgery e l'allotrapianto dei tessuti composti.¹⁴

2.2.2 Mezzi ottici e strumentario

La microchirurgia si avvale di diversi strumenti specifici come il microscopio operatorio.

Gli occhiali da microchirurgia, chiamati Loupes, forniscono ingrandimenti variabili da 2x a 4x e sono utilizzati nella microchirurgia dei vasi e dei nervi di maggiore calibro e nelle fasi di dissezione.

Il microscopio consente maggiori ingrandimenti e consiste in un sistema complesso di lenti. Le lenti sono dei sistemi ottici composti da materiali trasparenti racchiusi tra superfici piane e curve che deviano i raggi della luce. Generalmente in microscopia, le lenti sono sferiche e simmetriche rispetto all'asse ottico. Le lenti possono essere convergenti quando lo spessore maggiore si ha sull'asse ottico, o divergenti quando i bordi della lente hanno uno spessore maggiore.

I raggi provenienti da un punto P (definito Oggetto) rifrattono sull'asse ottico per convergere dal lato opposto della lente in un punto P' (chiamato Immagine). Quando il punto P tende ad una distanza infinita, l'immagine dal lato opposto è definita F o Fuoco principale della lente. Il fuoco dipende dai raggi di curvatura e dall'indice di rifrazione "n" del materiale di cui è composta la lente.

Il Campo visivo è l'ampiezza dell'area ingrandita. Aumentando l'ingrandimento si riduce il campo visivo e la profondità del campo, cioè la distanza entro la quale un oggetto rimane a fuoco senza compenso da parte dell'occhio dell'operatore.

La distorsione è la modifica della forma dell'immagine dovuta all'aberrazione della sfericità della lente. La risoluzione è la capacità di una lente di differenziare due punti. La distanza focale è il punto in cui l'immagine percepita è più precisa: è particolarmente importante nella microchirurgia perché si traduce nella distanza di lavoro.

Gli oculari sono un sistema di lenti che possono avere un ingrandimento variabile (10X, 12,5X), permettono di avere un campo visivo massimo ad una determinata distanza. I tubi binoculari permettono la regolazione della distanza interpupillare e la regolazione degli stessi rispetto all'asse principale per favorire una migliore postura all'operatore.

La fonte luminosa è di fondamentale importanza nella microchirurgia, e la sua necessità aumenta all'aumentare dell'ingrandimento. La fonte può essere interna o esterna al corpo e può essere condotta attraverso un sistema di lenti (light transmission guide) o attraverso fibre ottiche.

Lo stativo è il sostegno del microscopio, la sua base può essere mobile o fissa. Ha un braccio verticale e uno orizzontale oscillante, snodabile. Ci sono molti accessori, tra cui adattatori per macchine fotografiche e telecamere, pedaliera multifunzione.

In laboratorio vengono utilizzati microscopi binoculari unici a controllo manuale dell'ingrandimento e della messa a fuoco, mentre nella pratica clinica vengono utilizzati microscopi a doppio binoculare con controllo a pedaliera (zoom e messa a fuoco) che consentono a due operatori di lavorare senza dover staccare le mani dal campo operatorio sterile per regolare il microscopio.

I requisiti fondamentali degli strumenti microchirurgici sono la maneggevolezza, la precisione e la delicatezza nella manipolazione dei tessuti.

La maneggevolezza dipende dalla forma e dal peso dello strumento. Gli strumenti di microchirurgia hanno forma piatta o curva. Le pinze e i dilatatori hanno forma piatta mentre le forbici e i porta-ago hanno forma curva poiché richiedono movimenti rotatori fini.

Il peso dello strumento deve essere correttamente distribuito in modo da garantire il centro di gravità tra il pollice e l'indice della mano dell'operatore. Gli strumenti bilanciati sono più maneggevoli.

La lunghezza dello strumento può oscillare in genere tra gli 11 cm e 18 cm in base alla profondità del campo operatorio e la sua curvatura all'estremità può permettere una migliore manipolazione a seconda della posizione della mano e del campo operatorio.

Il set di strumentario microchirurgico varia a seconda della tipologia di intervento ma strumenti come pinze, porta-ago, forbici, dilatatori vascolari, micro clamp libere ed approssimatori sono sempre presenti.

Le pinze da orologiaio sono utilizzate per manipolare i tessuti e facilitare la dissezioni. Sono utilizzate da molti chirurghi anche in sostituzione del porta-ago. In microchirurgia sono utilizzate le pinze 3 e 5 rette.

Le pinze di Pierse hanno punte ad anelli e sono meno traumatiche. Sono utilizzate per effettuare la contro pressione alla penetrazione dell'ago nel corso delle anastomosi vascolari. Le pinze di Banis hanno una punta leggermente angolata e sono utilizzate nelle suture termino-laterali e, come le pinze di Pierse, per esercitare una contro pressione interna al vaso nel passaggio della sutura per l'anastomosi.

I dilatatori vascolari sono delle pinze con punte arrotondate non traumatiche utili per allargare il lume del vaso senza danneggiare la tonaca intima. Questo strumento permette di superare lo spasmo vascolare mantenendo un diametro uniforme di dilatazione del vaso. Permettono, inoltre, di facilitare il passaggio dell'ago durante la sutura evitando di intrappolare la parete posteriore del vaso.

I porta-ago hanno diverse forme: la loro tipologia varia in base alla forma dell'estremità (retta o curva), in base alla forma della superficie di presa (retta o curva) o alla tipologia di tenuta (con o senza fermo). Generalmente si preferisce utilizzare porta-ago a punta e superficie di presa curve poiché permettono una rotazione più omogenea del movimento di penetrazione e rotazione dell'ago prima della presa con la pinza.

Nello strumentario microchirurgico sono utilizzate due tipologie di forbici.

Le forbici microchirurgiche da dissezione hanno una punta smussa e lame con margine lievemente arrotondato e sono utilizzate per l'esposizione e l'isolamento delle strutture neuro-vascolari.

Le forbici da avventiziectomia presentano punte e lame dritte e affilate e sono utilizzate per il taglio dell'avventizia, per la regolarizzazione delle strutture neuro vascolari e per il taglio dei fili di sutura di calibro inferiore a 8.0.

Forbici specifiche con una lama dentellata sono utilizzate per la regolarizzazione dei capi nervosi offrendo una tenuta ed un taglio controllato. La classica forbice ad anelli smussa è sempre presente nel kit microchirurgico perché utilizzabile nelle prime fasi della dissezione.

Clamp ed approssimatori sono necessari per fissare ed avvicinare le estremità dei vasi da anastomizzare. Questi strumenti forniscono un'adeguata tenuta in modo da interrompere il flusso e non scivolare senza danneggiare la parete vasale. Le diverse misure sono scelte in base al calibro e alla tipologia del vaso.

I fili di sutura più utilizzati in microchirurgia sono di nylon o polipropilene perché hanno una superficie liscia e consentono una facile chiusura dei nodi. Questi materiali generano reazioni tissutali limitate, al contrario del filo di seta. I diametri dei fili sono variabili da 8.0 a 12.0 ma i fili più comunemente utilizzati sono i 9-0, 10-0, e 11-0. Gli aghi possono avere diverse sezioni, e quelli a sezione cilindrica sono meno traumatici per le pareti vascolari e nervose. Gli aghi con punta triangolare hanno una maggiore facilità di ingresso nei tessuti più resistenti ma il loro utilizzo non è ampio. Gli aghi utilizzati nella sutura vascolare non devono avere un calibro maggiore del filo per non danneggiare la parete del vaso durante il passaggio.¹⁴

2.2.3 Tecniche Anastomosi Terminale-terminali su vasi

Un'anastomosi terminale-terminali di un vaso può avvenire attraverso diverse tecniche. Le suture che possono essere eseguite sono:

- sutura con punti staccati: è la metodologia più comunemente utilizzata poiché affidabile e per la sua facilità di esecuzione. Per eseguire questa anastomosi si usano diverse tecniche (la tecnica della Biangolazione, la tecnica della Triangolazione, la tecnica "posterior wall-first")

La tecnica della Biangolazione prevede l'inserimento dell'ago entro i margini (non superiore a 0.5mm) e il nodo si esegue perpendicolarmente ai bordi dei monconi. Il secondo punto si posiziona dalla parte opposta, cioè a 180° rispetto al primo. Gli altri punti sono posizionati dividendo in

parti equidistanti tra loro le due emicirconferenze, completando inizialmente quella anteriore. Successivamente si ruota l'approssimatore di 180° per esporre la parete posteriore che viene suturata utilizzando la stessa metodica. (Fig.3)

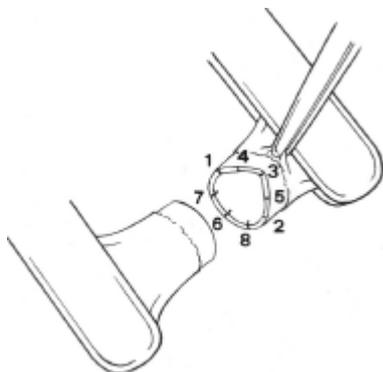


Fig.3: Sequenza nell'opposizione dei punti a partire da 180°.

Nella tecnica della Triangolazione, dopo avere eseguito il primo nodo, si posiziona il secondo a 120°. Il terzo punto si posiziona sulla parete posteriore ruotando l'approssimatore a metà tra il primo e il secondo nodo. Si posizionano i rimanenti 6 punti (Fig.4).

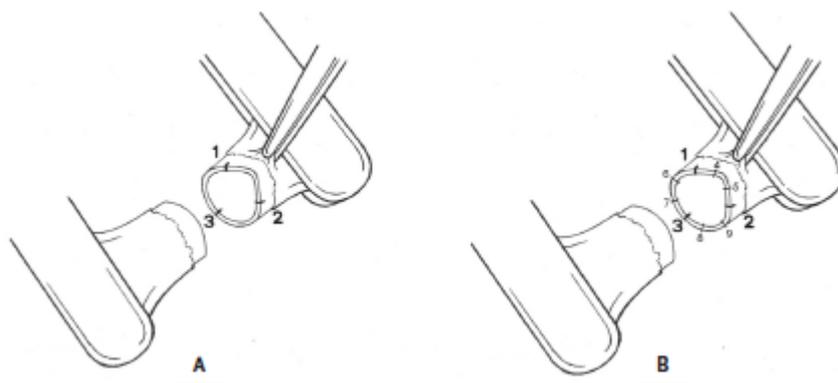


Fig. 4: (A) Apposizione dei nodi a 120°. (B) 9 punti in un vaso di piccole dimensioni.

La Tecnica Posterior Wall First è stata descritta nel 1981 da Harris e Bunke e viene comunemente impiegata quando non è possibile girare l'approssimatore. Si esegue la prima sutura al centro della parete posteriore con un punto inverso semplice. Gli altri punti nella

parete posteriore sono posizionati equidistanti tra loro, e successivamente si procede con la sutura della parete anteriore

- sutura continua: questa tecnica presenta un rischio di stenosi dell'anastomosi maggiore rispetto alla sutura con punti staccati. Inoltre presenta alcune difficoltà tecniche dovute alla mancanza di visualizzazione del filo. Si utilizza questa tecnica su vene di grosso calibro ma alcuni autori la utilizzano anche per le arterie (Fig.5).

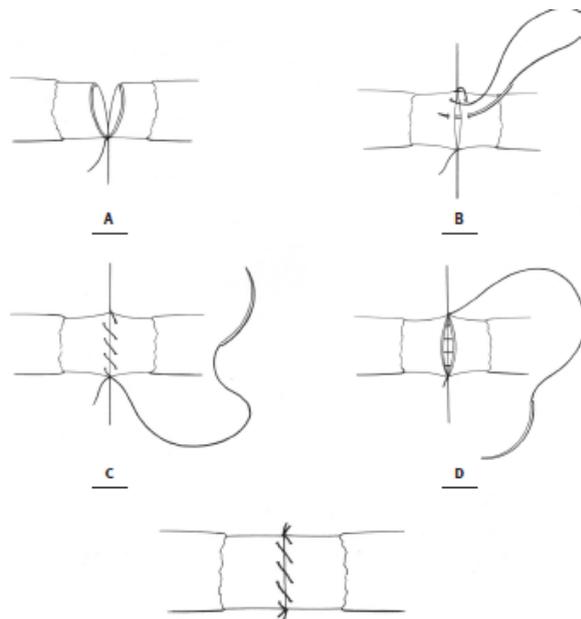


Fig.5: Sutura continua

- sutura "Open Loop". Questa tecnica, descritta da Chen e Chiu nel 1986, è frutto della combinazione della rapidità di esecuzione della sutura continua e della sicurezza della tecnica dei punti staccati. È una tecnica bifasica: inizialmente viene eseguita una sutura continua assicurandosi di lasciare aperte le asole del filo, successivamente la spirale ottenuta viene interrotta per ottenere delle suture staccate che vengono annodate individualmente (Fig.6). Con questa tecnica si ha una buona visuale del lume e si evita il rischio di stenosi dell'anastomosi.¹⁴

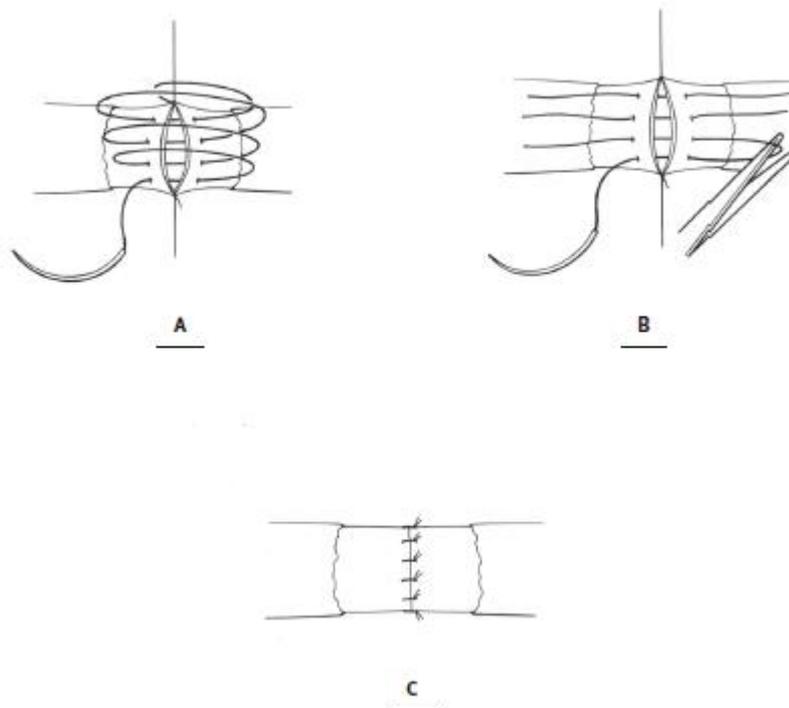


Fig. 6: Sutura "Open Loop". Sequenza nell'apposizione dei punti. Società italiana di microchirurgia., Timeo. *Manuale Di Microchirurgia : Dalle Tecniche Di Base a Quelle Avanzate*. Timeo; 2015

2.2.4 Utilizzi della microchirurgia

La microchirurgia coinvolge vasi di calibro 1-2 mm. Richiede un set di strumenti diverso da quello chirurgico standard.

I pilastri della microchirurgia sono descritti dalle tre "M": Microscopio, Micro-strumenti e Micro-suture.¹⁵

Le tecniche possono essere divise in 3 branche: vascolare, nervoso e linfatico.¹⁶

È di fondamentale importanza in alcune specialità chirurgiche come chirurgia plastica, chirurgia vascolare, chirurgia maxillofacciale, otorinolaringoiatria, chirurgia dei trapianti, neurochirurgia.

La microchirurgia laser prevede l'utilizzo del laser, che consente di adottare un approccio meno invasivo. È utilizzato per riparare organi o rimuovere masse cancerose senza la necessità di incisioni.

Nella microchirurgia endoscopica il microscopio è montato su uno strumento chiamato endoscopio, che consiste in un tubo flessibile o rigido: questa tecnica è utilizzata nel trattamento di intestino, polmoni, condotti uditivi e utero.

La microchirurgia endoscopica transanale (TEM) è una tecnica utilizzata nelle lesioni del retto.

La microchirurgia in ambito ginecologico è utilizzata in procedure volte a trattare l'infertilità femminile: adesiolisi, fimbrioplastica, salpingiotomia. La microchirurgia in questa specialità medica ha determinato un aumento del tasso di gravidanze in donne sottoposte in precedenza ad interventi di sterilizzazione.

La microchirurgia è utilizzata anche in urologia, nella ricostruzione del tratto urogenitale maschile, autotrapianto testicolare, trapianto vascolarizzato dei vasi deferenti e nel ripristino del flusso sanguigno con innesti venosi al pene per il trattamento dell'impotenza.

L'utilizzo della microchirurgia nell'ortopedia è indicato nel trapianto degli arti, delle mani o delle dita, negli innesti ossei e nella riparazione dei nervi periferici.

Bypass microvascolari intra ed extra-cranici sono utilizzati nella prevenzione e nel trattamento dell'ischemia cerebrale.¹⁷ Le abilità microchirurgiche sono fondamentali per un successo neurochirurgico. Il primo utilizzo della microchirurgia in neurochirurgia risale alla resezione di un neurinoma acustico nel 1957 dal Dr. Theodore Kurze. Il successo del training in microneurochirurgia è dovuto al successo delle anastomosi di nervi e di vasi.¹⁸

La microchirurgia viene applicata non solo nella chirurgia ricostruttiva, ma anche nella chirurgia dei traumi acuti.

Le procedure di microchirurgia sono procedure ad altissima difficoltà e time-consuming, necessitano di un'altissima destrezza, di una tecnica stabile e fluida, e di fine coordinazione visuale-motrice. Importante, tra le richieste della microchirurgia è l'abilità di risolvere complicazioni incontrate intra-operativamente.

I continui miglioramenti delle tecniche microchirurgiche determinano un aumento delle sue applicazioni in tutti gli ambiti della chirurgia.¹⁶

Gli animali da laboratorio hanno permesso lo sviluppo delle moderne tecniche di microchirurgia, che a loro volta sono fondamentali nelle procedure chirurgiche.

La combinazione della visione stereoscopica, delle abilità visuo-spaziali e della destrezza è imperativa per una procedura microchirurgica di successo: determina una ripida learning-curve.

Outcome microchirurgici di successo sono proporzionali all'esperienza e alla seniority. Allo stesso tempo si è dimostrato che anche chirurghi junior possono ottenere buoni outcome.¹⁹

Con l'aumento della richiesta di chirurghi esperti in microchirurgia, vengono frequentemente organizzati dei corsi base ed avanzati di microchirurgia per giovani chirurghi. Generalmente questi corsi non sono standardizzati per cui ne è dibattuta l'utilità.

Nonostante sia stato evidenziato come un corso da più ore riesca ad aumentare le skills di microchirurgia, la letteratura insegna che questi corsi sono insufficienti per una pratica sicura.

Dato che il fallimento, soprattutto da parte di un chirurgo inesperto, di una anastomosi microvascolare è alto, questo possibile outcome ha aumentato le questioni etiche.

L'apprendimento motorio consiste nei tre stadi dell'acquisizione psicomotoria: cognitiva, associativa e autonomo.¹⁹

2.2.5 Utilizzi della microchirurgia in Chirurgia Pediatrica

Durante lo sviluppo di tecniche in chirurgia pediatrica, si pensava che i piccoli vasi potessero presentare una limitazione per il trasferimento di tessuti e che un diametro minore di 0.7mm non fosse adatto per attuare microanastomosi perché troppo piccoli per risultati attendibili.

Questa scuola di pensiero ovviamente è svanita con lo sviluppo della microchirurgia pediatrica.

La microchirurgia pediatrica è eseguita nella ricostruzione degli organi affetti da difetti congeniti, nei traumi e nell'escissione di tumori. La maggior parte dei casi si tratta di ricostruzione da deformità congenite faciali e della mano.

Tra i difetti congeniti faciali che richiedono la microchirurgia, ci sono l'Atrofia emifaciale di Romberg, la Microsomia faciale, Facial clefts, la sindrome di Treacher Collins: tutte queste condizioni determinano asimmetria faciale. Il free flap più utilizzato nell'atrofia emifaciale di Romberg sono i flap scapolari e parascapolari. Questi determinano, con l'estensione della loro fascia, un ispessimento che viene legato allo scheletro per evitare la caduta dovuta alla gravità. Questi flap forniscono una grande quantità di tessuto e un peduncolo vascolare con diametro maggiore di 1mm. Sono stati documentati casi in cui oltre a questi ultimi flap, sono stati utilizzati free flap di omento: i vasi sono più grandi e il grasso si può modellare per correggere le deformità.

Altre condizioni che possono beneficiare di free tissue transfer sono il labbro e il palato leporino. È un trattamento di secondo livello: alcune tecniche prevedono l'utilizzo di un lembo dell'avambraccio con o senza osso per grandi difetti del palato.

Nelle paralisi croniche del nervo faciale, la possibilità di un ritorno funzionale dopo la ricostruzione o la decompressione è bassa. In questo caso l'unica opzione è il lembo libero di muscolo o un lembo di muscolo pedunculato. La tecnica più utilizzata è il trasferimento del free gracile per ripristinare il sorriso. La tecnica di seconda linea consiste nell'innesto del nervo faciale, dal trasferimento del muscolo e dalla successiva neurizzazione: permette di ripristinare il sorriso, diminuendo la morbilità del sito donatore. Bae et al. dimostrarono che gli outcomes dell'innesto nervoso e della neurizzazione del gracile libero con il nervo massetere erano simili.

Le deformità congenite delle mani hanno un'incidenza di 1.97 ogni 1000 nati vivi. Nonostante la maggior parte dei bambini riesca ad avere un miglioramento della condizione attraverso l'esecuzione di procedure standard, i bambini con ipoplasia

radiale, senza dita o quelli con pseudoartrosi dell'avambraccio necessitano di procedure diverse da quelle comunemente utilizzate.

L'assenza di dita può essere dovuta a adattilia, simbrachidattilia, alla presenza di una fessura nella mano, o alla sindrome da banda amniotica. La tecnica microchirurgica adatta per queste condizioni consiste nel trasferimento del primo o secondo dito del piede: l'obiettivo è quello di costruire un dito. Se il primo dito della mano è già presente si cerca di ricreare il secondo dito. Il goal della ricostruzione delle mani è ottenere il pollice e due dita per consentire la capacità della presa.

Nella ipoplasia radiale è eseguita la procedura di trasferimento del secondo dito del piede per stabilizzare il polso. Vikki ha descritto l'utilizzo del secondo metatarso e della falange prossimale come mezzo per creare la colonna radiale in caso di ipoplasia radiale Bayne tipo 3 e 4: la procedura è realizzata in due momenti. Nel primo step i tessuti vengono staccati dal polso e dal radio con un fissatore esterno per allineare le strutture, successivamente durante il secondo step della procedura vengono trasferiti il secondo metatarsi e la falange prossimale sul versante radiale del polso. La procedura di Vikki, al contrario della procedura standard per l'ipoplasia radiale (centralizzazione e radializzazione), garantisce la flessione e l'estensione del polso.

La pseudoartrosi congenita è causata dalla neurofibromatosi o dalla displasia fibrosa e determina una mancata unione persistente del radio e/o ulna con atrofia e deformità dell'osso. L'utilizzo del perone permette la resezione dell'intero osso malato e la fissazione con viti e piatti. L'utilizzo di questa tecnica fornisce una maggiore stabilità, rispetto alla stabilizzazione con fissatore.

I traumi sono una delle cause più comuni di accesso pediatrico in nosocomio: gli incidenti stradali rappresentano la causa più frequente di trauma dei tessuti morbidi. Il tipo di danno dipende dalla plasticità dell'osso e dal posizionamento dei bambini nel seggiolino. Nei traumi pediatrici, solo una rara percentuale necessita di free flaps: la maggior parte sono utilizzate nella regione caviglia/piede (Serletti et al.).

In ortopedia oncologica pediatrica il goal è la preservazione degli arti. Per garantire una resezione adeguata dell'osso, durante la procedura chirurgica si creano dei difetti ossei che tradizionalmente sono risolti con allo-trapianti ossei corticali. Nonostante il perone trapiantato sia pronò ad ipertrofia e rimodellamento, la corticale non presenta una adeguata forza strutturale: questa tecnica può determinare un aumentato rischio di fratture e alterazione della motilità dell'arto.

La microchirurgia è di fondamentale importanza anche nella chirurgia dei trapianti. La Vascularized composite allograft (VCA) è una tecnica innovativa che cerca di migliorare la qualità della vita considerando i rischi associati alla terapia immunosoppressiva.

Nel 2014 Dr. Gurnaney e il suo team eseguirono un doppio trapianto di mani in un bambino di 8 anni con storia di trapianto renale e amputazioni degli arti. Il trapianto della mano, al contrario degli organi solidi, non è una procedura lifesaving: nel caso del 2014 il bambino era già in terapia immunosoppressiva.²⁰

Dopo un trapianto di fegato, l'incidenza di trombosi dell'arteria epatica nella popolazione pediatrica è maggiore rispetto a quella adulta a causa del calibro più piccolo del vaso. In passato un'arteria epatica del donatore minore di 2-3 mm di diametro era una controindicazione al trapianto. L'applicazione di tecniche di microchirurgia che permettono un migliore maneggiamento del tessuto e l'esecuzione di anastomosi microvascolari perfette, hanno determinato una diminuzione delle complicanze arteriose.

Dopo la ricostruzione della Vena Epatica e della Vena Porta, per l'anastomosi dell'arteria epatica si posiziona il microscopio sopra l'ilo con il primo operatore sulla destra del paziente e l'assistente sulla sinistra. Nei pazienti pediatrici in cui viene trapiantata la porzione sinistra di un fegato adulto, viene utilizzata l'Arteria Epatica destra del recipiente per la ricostruzione arteriosa perché è più lunga, e ha un migliore afflusso rispetto alla controlaterale. L'arteria epatica destra del recipiente sarà anastomizzata con l'arteria epatica sinistra del donatore. L'utilizzo di un doppio clamp previene la distorsione dell'anastomosi, successivamente vengono tagliati entrambi i monconi per avere un campo libero per attuare

l'anastomosi. L'avventizia è tagliata qualche millimetro dal margine del vaso. Prima di eseguire la microanastomosi si posiziona sotto i vasi un pad colorato per permettere di osservare e distinguere bene i tessuti e gli strumenti utilizzati. L'arteria epatica del recipiente viene gentilmente dilatata per prevenire gli spasmi. Devono essere eseguiti 8 punti staccati con nylon 9-0 per eseguire l'anastomosi del vaso. Il primo punto deve essere inserito a 30° anteriormente al piano verticale del clamp. Il secondo punto verrà posizionato a 180° dal primo, cioè a 210°: i primi due punti saranno opposti per garantire un giusto orientamento del vaso. Il terzo punto è posizionato a 75°, il quarto punto sarà tra il primo e il secondo, a 120° dal piano del clamp e sarà lasciato non legato per garantire una buona visuale all'operatore per i successivi punti. Il quinto punto si posiziona tra il secondo e il quarto punto, a 165°. Dopo aver eseguito e chiuso il quinto punto, si chiude il quarto: si chiude la parete anteriore.

Per eseguire la ricostruzione della parete posteriore, si ruota gentilmente il clamp e si lava l'anastomosi con soluzione salina. Il sesto nodo si chiude a 45° dal secondo (a 255°), che dopo la rotazione del clamp, si trova superiormente. Il settimo nodo si esegue inferiormente al sesto, a 300°, e si lascia slegato per avere una buona visibilità e mobilità, per poi eseguire e chiudere l'ottavo a 345°. Alla fine, si chiude il settimo nodo. L'anastomosi è completa e si rimuove prima il clamp dal donatore e poi dalla parte del ricevente. (Fig.7) Viene eseguito un test di pervietà con una Ecografia Doppler.

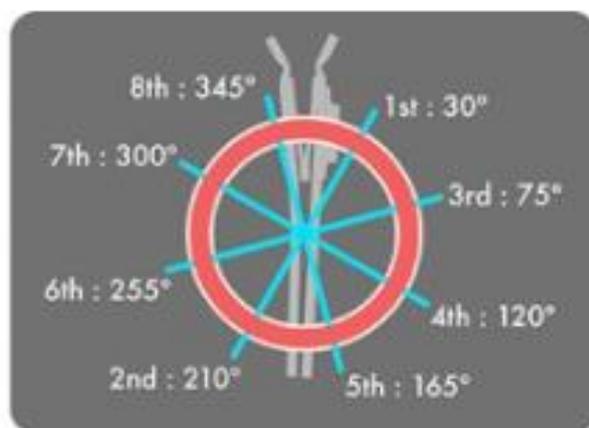


Fig. 7. <http://pie.med.utoronto.ca/TVASurg/project/pedhaanastomosis/>

Mentre si chiudono i nodi, la tensione applicata deve essere perpendicolare all'asse del vaso e deve essere uguale in entrambi i monconi.

Un'altra tecnica utilizzabile per la ricostruzione dell'arteria epatica è la Tecnica Paracadute.

L'utilizzo di questa tecnica di chirurgia microvascolare è associato ad un basso tasso di complicanze arteriose e ad una eccellente funzionalità dell'organo nel lungo termine: le collaborazioni tra microchirurghi e chirurghi dei trapianti permettono di diminuire le difficoltà tecniche e di ottimizzare gli outcome dei pazienti pediatrici.²¹

2.3 Training in Microchirurgia

I corsi di tecniche di microchirurgia possono includere modelli non viventi o modelli di laboratorio. Tutto ciò che viene utilizzato per le simulazioni: dai guanti, ai tubi elastici, ai cadaveri, sono di estrema importanza poiché permettono di lavorare con oggetti di diverse dimensioni, di diversa consistenza.²²

I modelli non viventi sono vantaggiosi perché sono estremamente accessibili, trasportabili ed economici. Hanno inoltre un basso rischio biologico e richiedono una bassa manutenzione ma non sono dei modelli realistici, come i modelli viventi.

Grober et al. hanno dimostrato come gli allievi microchirurghi che si allenano con modelli sintetici a bassa fedeltà raggiungono gli stessi goal di quelli che si allenano sui ratti. Per iniziare si possono utilizzare modelli a bassa fedeltà per familiarizzare con le tecniche di microchirurgia, per poi perfezionare le proprie skills su modelli animali, prima di utilizzarle in sala operatoria. L'utilizzo di modelli sintetici nei training permette di utilizzare fino al 50% in meno di animali da laboratorio, di abbassare i costi fino al 20% e di aumentare l'efficacia del training.

Dato che la sala operatoria è considerata una "poor classroom" a causa della bassa quantità di skills di microchirurgia apprese dai chirurghi in formazione, generalmente queste vengono acquisite seguendo dei corsi specifici.

L'acquisizione di queste tecniche, che sono estremamente complicate e sicuramente non di padronanza comune, difficilmente avviene durante la scuola di specializzazione a causa della limitazione di tempo, di risorse e di opportunità.⁹

2.4 Il metodo di apprendimento e la Learning Curve

Diversi studi hanno iniziato a dimostrare come l'acquisizione di skills in laparoscopia e in chirurgia possa essere collegato al metodo di apprendimento del soggetto in training.

Il metodo di apprendimento è la capacità di acquisire nuove abilità, di migliorare le proprie capacità e conoscenze e di far proprie le conoscenze insegnate.

Il concetto di metodo di apprendimento o learning style è molto utilizzato nell'higher education per ottimizzare la curva di apprendimento degli studenti.

Conoscere il learning style di ciascun studente o trainer permette di definire un apprendimento personalizzato e che possa aiutare a esaltare l'acquisizione di skills e conoscenze.

In alcuni studi di laparoscopia viene utilizzato come metodo di apprendimento il Fleming VARK (Visual, Aural, Read/Write, Kinesthetic). Il metodo di apprendimento Read/Write è stato inserito perché alcuni soggetti preferiscono apprendere da parole scritte mentre altri soggetti, come quelli che utilizzano il Visual Style, preferiscono immagini o diagrammi. Il metodo con cui si apprende un'abilità influenza la performance.²³

2.5 La Learning Curve

Le curve di apprendimento mostrano graficamente la relazione tra lo sforzo di apprendimento e i risultati ottenuti. Una learning curve tipicamente pone in una relazione matematica la quantità di apprendimento sull'asse delle ordinate e lo sforzo sull'asse delle ascisse.

A livello personale una curva di apprendimento mostra i progressi di un soggetto verso una condizione di competenza mostrando inoltre il tasso di apprendimento, il punto della curva in cui l'apprendimento è frutto di un maggior sforzo e la distanza dal punto di mastery.

In generale la relazione tra la performance e lo sforzo non è lineare: la curva può avere forma di una "S" o di una ogiva perché il tasso di apprendimento non è sempre costante. All'inizio del processo di apprendimento si potrebbe riscontrare una fase "latente", fase in cui l'apprendimento è fortemente limitato perché il trainee familiarizza con gli strumenti e i tessuti. Dopo questa fase la performance aumenta rapidamente e l'efficienza di apprendimento è massima. Graficamente questa fase corrisponde ad una curva con pendenza positiva perché con ogni ripetizione dell'esercizio si ha una grande crescita dell'abilità. Alla fine, il tasso di apprendimento diminuisce causando una deflessione della curva perché l'apprendimento non è omogeneo: ad un grande aumento dello sforzo corrisponde un minimo miglioramento della performance. La curva si avvicina ad un asintoto che rappresenta la massima performance raggiungibile in un determinato contesto. (Fig. 8)²⁴

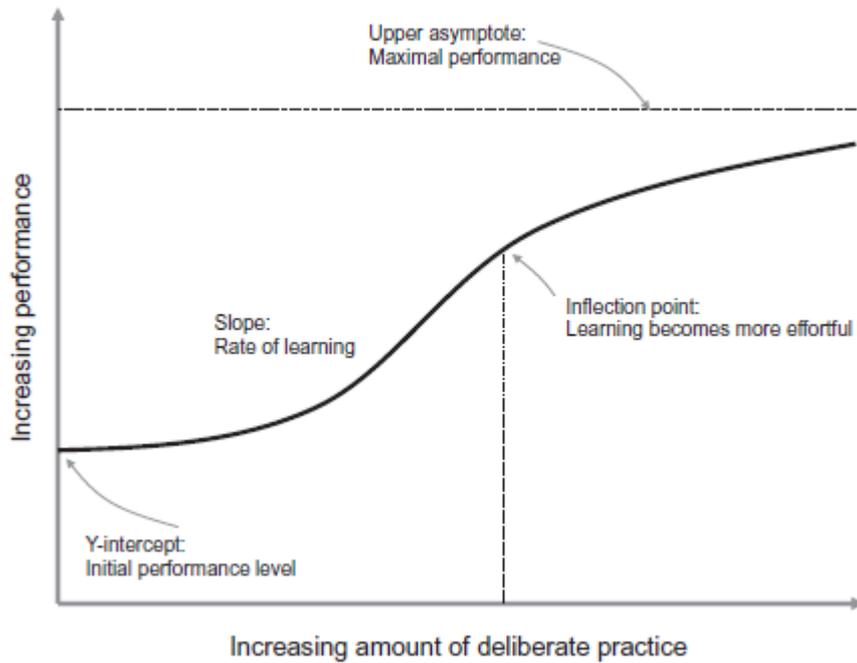


Fig.8 Pusic M v., Boutis K, Hatala R, Cook DA. Learning Curves in Health Professions Education. *Academic Medicine*.

Un terzo elemento è necessario per creare una curva di apprendimento è la funzione di link, una equazione matematica che lega le due variabili.

Nonostante l'apprendimento raramente sia rappresentato da una curva lineare, l'utilizzo di una funzione lineare è un'approssimazione della funzione utilizzabile come linking equation ($Y=a+bx$ dove y è la misura della performance, x è la misura dello sforzo). Modelli rappresentati da equazioni esponenziali come $Y=a+bx^{-c}$ (c è la misura dell'apprendimento durante il processo di learning), descrivono il momento in cui, alla fine della curva, cioè nel momento in cui il trainee è esperto, ogni unità di sforzo corrisponde ad un minimo miglioramento della performance.²⁴

2.6 Assessment nel Training microchirurgico

Il termine Assessment è definito dal Post Medical Education Training Board in Gran Bretagna come Misura del progresso.¹⁸

L'assessment, nel contesto del training, giudica la conoscenza, la padronanza di una skill e misura il miglioramento nel tempo generando un feedback e identificando i punti di forza e di debolezza.¹⁹

Una buona valutazione dovrebbe essere affidabile, valida, istruttiva, accettabile e praticabile in termini di costi.⁹

È stato istituito l'International Microsurgery Simulation Society (IMSS) per promuovere l'istruzione e corsi di microchirurgia nel mondo.²²

Il primo step nel training microchirurgico è il laboratorio. Al momento strumenti di valutazione delle abilità microchirurgiche devono essere perfezionate per ottenere un sistema che garantisca qualità e acquisizione di competenze.

Il Global rating score, l'analisi del movimento delle mani e la pervietà del vaso sono strumenti che possono essere utilizzati nell'assessment delle skill acquisite durante il training.

Utilizzando le checklist si riesce ad eliminare la componente soggettiva dalla valutazione del candidato: il valutatore non può commentare o esprimere valutazioni personali durante l'esecuzione del task. I novizi di solito riescono ad eseguire una checklist meglio di un chirurgo esperto perché dividono la procedura in piccoli step, al contrario degli ultimi che agiscono automaticamente.

Schueneman et al. ha istituito una scala di valutazione per l'abilità chirurgica. Nel 1995 Martin et al. ha sviluppato il concetto di "checklist" e di Global Rating Scale definito da 10 criteri, ognuno con massimo 5 punti per valutare il comportamento chirurgico. Ross et al. ha definito l'University of Western Ontario Microsurgical Skills Assessment instrument (UWOMSA), mentre Chan et al. ha creato il SAMS (Structured Assessment of Microsurgery) unendo 3 valutazioni diverse cioè il Global Rating Scale, la scala di errori e il Summative Rating scale.

Martin et al. ha coniato anche il termine OSATS score “Objective Structured Assessment of Thechnical Skills”: è uno score che viene utilizzato per valutare i chirurghi in formazione mentre compiono diverse task. Successivamente l’utilizzo di questo score è stato indicato anche per il training di microchirurgia. Questo metodo di valutazione, però, necessita di un valutatore che osservi direttamente il candidato.

Tra i tanti metodi di valutazione microchirurgici, il GRS è il metodo più semplice ma non c’è un consenso generale su uno score standard.

La scala di valutazione utilizzata idealmente dovrebbe essere oggettiva perché dovrebbe permettere anche agli operatori meno esperti di poter dare valutazioni. Alcuni dei criteri negli score comunemente utilizzati possono avere dei gradi non sempre chiari. Per esempio, nel criterio “qualità del prodotto” nel Global Rating Score c’è un range tra “molto povero” e “chiaramente superiore”. Questo implica che la descrizione e la valutazione del candidato possano variare in base agli standard dei valutatori, soprattutto se inesperti.

Il peso dei criteri nel Global Rating Score è lo stesso, ma nella pratica clinica alcuni criteri hanno un peso nettamente superiore rispetto ad altri.

Una valutazione oggettiva dei medici all’inizio della formazione può essere utilizzata per creare curve di apprendimento e per dimostrare la progressione dell’apprendimento stesso.¹⁹

Analisi della mobilità delle mani

L’abilità chirurgica è caratterizzata per il 25% dalla destrezza e per 75% dal decision-making mentre l’abilità microchirurgica è definita da un livello maggiore di destrezza.

L’Imperial College Surgical Assessment ha creato dei dispositivi che, attraverso onde elettromagnetiche, percepiscono la posizione di sensori presenti sulle mani del chirurgo o sugli strumenti chirurgici. Attraverso un computer si misurano il tempo, il numero dei movimenti, la distanza tra le mani, i movimenti traslazionali

e rotatori delle mani. Attraverso un device si riprende l'esercizio affinché possa essere valutato.

Questa tecnica si è rivelata una tecnica oggettiva, valida e sensibile per la valutazione: è utilizzata per valutare la performance di chirurgie open, laparoscopiche, di microchirurgia.⁹

È una metodica che viene utilizzata nelle simulazioni in laboratorio poiché è difficile utilizzarli in sala operatoria.

Nell'analisi del movimento delle mani è fondamentale definire il movimento, che consiste nel cambiamento della velocità cioè in una accelerazione o decelerazione dello strumento.^{25,26}

Analisi del prodotto finale

L'utilizzo dell'indice di pervietà può essere il metodo più valido e accreditato per insegnare e valutare i chirurghi ma è un metodo costoso e time consuming.¹⁹

Alcuni studi hanno dimostrato come i chirurghi inesperti abbiano bisogno di fare almeno 50 anastomosi su vasi di ratto per avere un indice di pervietà simile a quello di chirurghi esperti.

L'utilizzo di vasi artificiali può avvantaggiare la valutazione dell'esercizio ma pecca in realismo poiché non si tengono in considerazione i processi di coagulazione che non sono replicabili.⁹

Alcuni studi sostengono che la performance aumenta immediatamente dopo il training ma che cala col tempo. Le opportunità di esercitarsi migliorano la performance in attività microchirurgica: si è visto che rispetto ad un corso intensivo, un corso spalmato nel tempo permette ai tirocinanti di mettere in pratica ciò che si studia e quindi di memorizzare e migliorare le proprie skills.⁹

Sette scale di assessment sono state definite in tutto il mondo per valutare la competenza del chirurgo durante l'esercizio di microsutura. Ogni scala ha i propri punti di forza nel valutare l'abilità microchirurgica.¹⁸

Il Objective Structured Assessment of Technical Skills (OSATS) e il Northwestern Objective Microanastomosis Assessment Tool (NOMAT) sono gli score più utilizzati tra le scale di valutazione. ¹⁸

Global Rating Scale

Grober et al. ha sviluppato nel 2003 un assessment a sei criteri. La valutazione è fornita da un chirurgo esperto. La scala è utilizzata in diverse specializzazioni e anche in endoscopia. Il GRS considera il tempo, il flow del movimento, il rispetto per il tessuto, l'handling degli strumenti e la qualità del prodotto finale.

Il rispetto per il tessuto è un'abilità che deve essere appresa fin dalla prima lezione. Il flow di movimento migliora con il tempo e con l'esperienza.

Objective Structured Assessment of Technical Skills

OSATS score è stata definita da Martin et al. per valutare la performance degli specializzandi chirurghi sul tavolo operatorio. È utilizzata anche nella valutazione nei corsi di microanastomosi vascolare. La scala valuta la conoscenza e il flow della procedura ma non considera il tempo impiegato o la qualità del prodotto finale.

University of Western Ontario Microsurgical Skills Acquisition/Assessment

Temple et al. ha creato la scala UWOMSA nel 2009. Questo score valuta l'efficienza della sutura e l'outcome chirurgico: valuta criteri che nell'OSATS score e nel GRS mancano. Permette di valutare la crescita delle abilità del candidato con l'aumento della complessità del task.

Northwestern Objective Microanastomosis Assessment Tool

Aoun et al. nel 2015 ha sviluppato questo strumento per misurare le competenze dei neurochirurghi e degli allievi neurochirurghi. Valuta 14 parametri: la postura del chirurgo, la manipolazione degli strumenti e del microscopio, il rispetto per il tessuto, il flow della procedura, la forza del nodo, lo spazio del nodo, la forza dell'anastomosi, pervietà del vaso. Il punteggio massimo raggiungibile è 100.

Stanford Microsurgery and Resident Training

Questa sala è stata sviluppata nel 2014 da Satterwhite et al. Comprende 9 categorie: il maneggiamento degli strumenti, rispetto per il tessuto, efficienza, qualità del nodo, tecnica di sutura e maneggiamento della sutura, il flow della procedura, prodotto finale, e la performance globale.

Structured Assessment of Microsurgery Skills

Chan et al. ha definito questa scala nel 2009. Il SAMS è uno strumento che recentemente è stato validato per valutare le abilità microchirurgiche nella chirurgia live grazie ad un criterio aggiuntivo definito "judgement".

Contiene 3 assessments: GRS, lista di errori e Valutazione finale. Il GRS score è definito da 12 criteri divisi in 4 aree. Ogni area contiene 3 sottosezioni:

- destrezza (maneggiamento dello strumento, stabilità, maneggiamento del tessuto)
- abilità visuo-spaziale (dissezione, tecnica del nodo, posizionamento della sutura)
- flow dell'operazione (step, velocità, movimento)
- giudizio (irrigazione, test di pervietà, controllo del sanguinamento).

La destrezza è il prerequisito fondamentale di una procedura di microchirurgia. La stabilità, che è l'abilità di controllare il tremore, determina la comodità nel maneggiamento degli strumenti. La giusta manipolazione del tessuto è fondamentale per evitare il rischio di danno del tessuto stesso e di trombosi.

L'abilità visuo-spaziale è uno step che si acquisisce con la familiarizzazione della procedura. È necessaria durante la dissezione del vaso, sutura e chiusura del nodo per evitare di intrecciare il filo, prendere la parete posteriore del vaso e di avere una sutura asimmetrica. Impedisce di ottenere vasi stenotici e di leaking dalla sutura.

Una buona destrezza e abilità visuo-spaziale determinano una buona performance nello svolgimento di suture microvascolari: un chirurgo esperto è efficiente in ogni step della procedura e quindi anche più veloce nel completare il task.

L'andamento dell'operazione dipende da diversi criteri come il controllo del movimento e la velocità del movimento.

Il giudizio dimostra l'abilità nel riconoscere, prevenire e controllare le complicazioni. Questa abilità è richiesta per test di pervietà, nel controllo del sanguinamento e per l'irrigazione. I test di pervietà devono essere delicati per evitare di causare danni alla tonaca intima dei vasi. L'irrigazione determina la distensione del lume del vaso e previene la dissecazione del tessuto, ma un'irrigazione troppo vigorosa determina un aumento della tensione superficiale, con conseguente aderenza delle suture.

Una checklist di obiettivi è un metodo per valutare i chirurghi in un ambiente controllato. Se la valutazione avvenisse in ambiente clinico, non si avrebbero gli stessi obiettivi.

La lista di errori permette di identificare gli errori commessi durante l'esecuzione del task. Il box dei commenti invece permette di aggiungere altri errori o commenti sulle difficoltà riscontrate durante la procedura. (Fig.9)

La conclusione della valutazione avviene attraverso la compilazione della Overall Performance, una scala da 5 punti, che permette di identificare il livello di abilità.²⁷

All India Institute of Medical Science- Neurosurgery Education and Training School Score

Questo score è stato progettato nel 2005 da neurochirurghi per gli specializzandi in neurochirurgia. Valuta la coordinazione mano-occhi, il maneggiamento del tessuto, la destrezza, l'efficacia e il flow della procedura.¹⁸

Tutte le scale tranne la AIIMSNETS sono state create a partire dalla GRS. UWOMSA è l'unica scala che fornisce una chiara divisione delle skills acquisite. Le scale comunemente utilizzate nei training, non possono essere utilizzate per un self-assessment da parte degli allievi: richiedono sempre la presenza di un chirurgo esperto.

L'abilità in microchirurgia si guadagna con molte ore di pratica: nelle ore iniziali, la coordinazione visuo-spaziale e la manipolazione dello strumento impediscono il progresso del candidato. Nel 2010 Hong et al. hanno dimostrato che la pratica determina un miglioramento della capacità di sutura e una riduzione del tempo impiegato per completare l'esercizio.

Nonostante le scale abbiano un grande utilizzo nell'assessment dei chirurghi, l'abilità delle scale di fornire un riscontro sull'area specifica da migliorare spesso manca.¹⁸

Nella tabella 2 c'è un confronto tra i parametri valutati nelle scale di assessment microchirurgico.

Parameter	GRS [9, 25]	OSATS [13, 19]	NOMAT [1]	UWOMSA [32]	SMaRT [26]	SAMS [4]	AIIMS-NETS [30]
No of parameters	6	6	13	6	9	12	5
Type of grading used	Likert	Likert	Likert	Likert	Likert	Likert	Likert
Operator's ergonomics	No	No	Yes	No	No	No	Yes
Use of microscope	No	No	Yes	No	No	No	Yes
Surgical equipment usage	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Knowledge of surgical equipment	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Knowledge of procedure	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Tissue handling	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Precision of suturing	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Efficiency of suturing	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Assessment of knots	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Evaluation of anastomosis	No	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes
Time	Yes	Yes	No	No	No	No	Yes
Overall performance	Yes	Yes	No	Yes	Yes	No	Yes

Tab.2 Niveditha M, Sharma R, Suri A. Microsurgical suturing assessment scores: a systematic review. *Neurosurgical Review*

Il training chirurgico attraverso le simulazioni, secondo Gallagher et al, permette l'acquisizione di skill quando l'abilità psicomotoria e spaziale si integrano e diventano automatiche.⁵

3.SCOPO DELLO STUDIO

Scopo di questo studio è la validazione dell'utilizzo di una piattaforma didattica di microchirurgia, "Trainer NeuroVascolare Avanzato" Iatrotek Srl, nella formazione di medici specializzandi in Chirurgia Pediatrica e Neurochirurgia dell'Università degli Studi di Padova.

Gli obiettivi dello studio sono i seguenti:

1. Valutare le variazioni della performance dei soggetti studio tra almeno 2 sessioni di simulazione di microchirurgia a distanza di 10 giorni.
2. Applicare una metodi di valutazione dell'esecuzione dei task tramite un sistema a punti che consideri il tempo di esecuzione dei tasks e la qualità del prodotto finale
3. Applicare l'analisi della motilità delle mani come parametro di acquisizione di skills:
 - Confrontare la distanza tra i due strumenti tra le due prove, che in condizioni di mastery dovrebbe essere il minore possibile.
 - Confrontare la finezza dei movimenti, quindi la variazione delle oscillazioni degli strumenti
4. Investigare la percezione dei soggetti studio sul miglioramento delle abilità di microchirurgia dopo l'utilizzo del simulatore tramite un questionario di gradimento
5. I suddetti elemento costituiranno i preliminari per la validazione dell'utilizzo della piattaforma di simulazione nel training chirurgico dei medici in formazione specialistica in Chirurgia Pediatrica e Neurochirurgia dell'università degli studi di Padova.

4.MATERIALI E METODI

4.1 La piattaforma didattica

La piattaforma didattica “Trainer NeuroVascolare Avanzato” -iatrotek srl è un sistema meccanico-idraulico progettato per il training di chirurghi in alcuni aspetti della microchirurgia e chirurgia vascolare.

Questa piattaforma è disegnata per acquisire esperienza nelle tradizionali tecniche di anastomosi, by-pass e di eseguire arteriotomie simulando condizioni di accesso chirurgico limitato e profondo, con possibilità di modulare diversi livelli di difficoltà.

È una piattaforma maneggevole, di piccole dimensioni quindi adatta per esercitazioni in ogni ambiente, sia chirurgico che laboratoristico grazie al suo apposito sostegno per una corretta e confortevole posizione di lavoro.

E' possibile utilizzare vasi sintetici di diverso calibro per effettuare microsuture per confezionamento di bypass termino-terminale e termino-laterale.

Le suture eseguite possono essere verificate tramite la perfusione dei vasi artificiali eventualmente determinando le caratteristiche del flusso attraverso strumenti come flussimetri.

Il Trainer presenta una piattaforma al disopra della quale sono fissati degli ugelli/supporti sui quali si innestano i vasi artificiali da anastomizzare.

I supporti possono essere raccordati a set di perfusione con apposito colorante per le prove di flusso. La steadiness delle mani è garantita da due poggia mani posizionati lateralmente alla piattaforma. Il sistema presenta l'opzione di una base in plexiglass sovrastante il piano di lavoro che simuli un opercolo cranico eèpr la simulazione di chirurgia vascolare intracranica. (Fig.10)

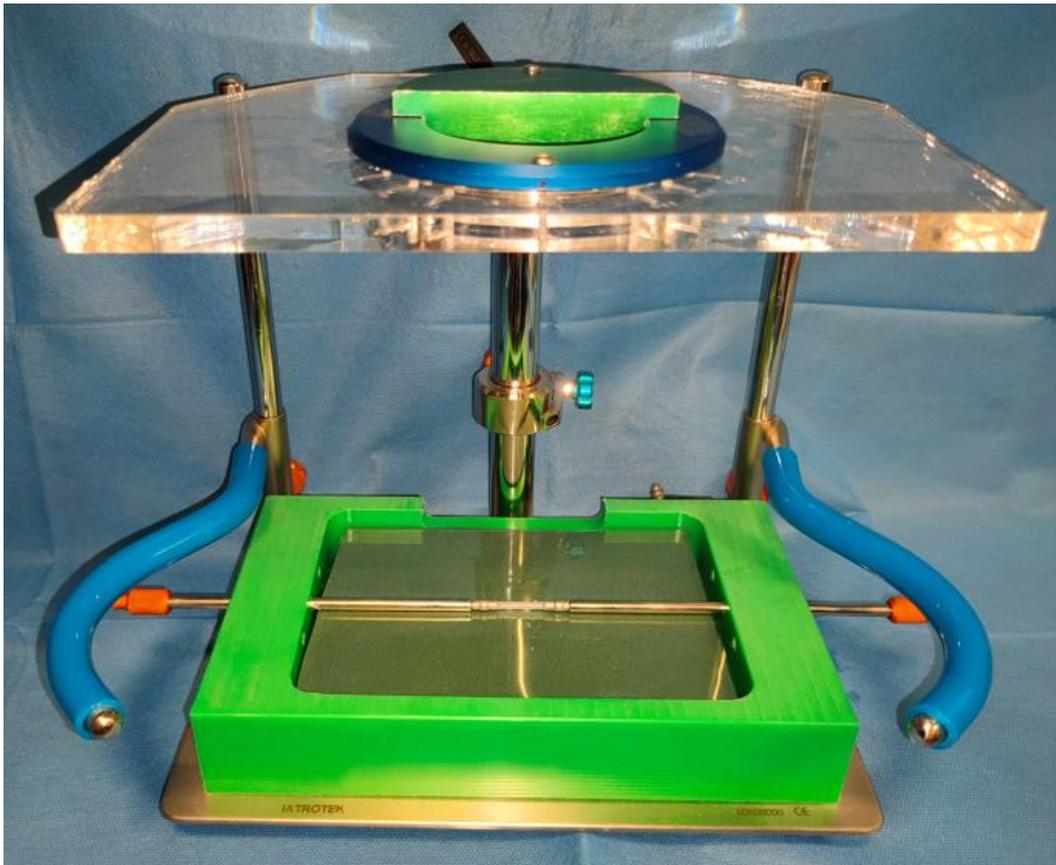


Fig. 10 Piattaforma didattica Trainer NeuroVascolare Avanzato

4.2 I vasi artificiali e strumenti chirurgici

I vasi artificiali utilizzati nello studio sono dei prodotti dalla Ono & Co, compagnia giapponese che produce simulatori per il training chirurgico.

Nello studio sono utilizzati vasi artificiali con diametro di 3mm. (Fig.11) Questi vasi sono costituiti da un polimero, l'Alcool Polivinilico (PVA), che permette di ricreare la consistenza e la struttura di un vaso umano.

Il PVA permette di creare un vaso con una texture umida e lo storage deve avvenire in ambienti bagnati e freddi.

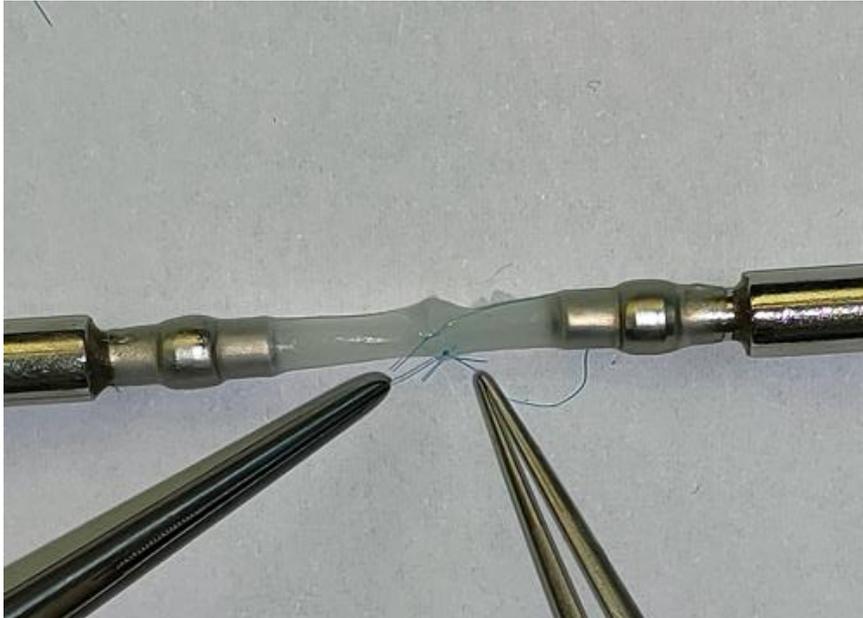


Fig.11 Vaso artificiale con diametro di 3mm su supporto.

Nello studio i candidati, al fine di completare l'esercizio, devono utilizzare gli occhiali da microchirurgia ingrandimento 2.5 per personalizzabili da ogni singolo soggetto . (Fig. 12)



Fig. 12 Magnifying Loupes

Gli strumenti utilizzati nello studio sono strumenti da microchirurgia: un porta aghi, una pinza e una forbice da venotomia o arteriotomia. (Fig.13)

Il filo da sutura è il Prolene 7/0. Gli strumenti sono stati dotati di markers colorati per il tracciamento digitale del movimento.



Fig. 13 La pinza, il porta aghi e forbici. La pinza e il porta aghi presentano rispettivamente un marker rosso e blu.

4.3 Ambiente della simulazione

Tutti i candidati hanno svolto le prove di microchirurgia, scopo dello studio, nello stesso ambiente: stanza dedicata alla simulazione presso la chirurgia pediatrica dell'Università di Padova, con limitazione dell'accesso durante le prove.

Il simulatore è posizionato su un tavolo frontalmente al candidato che è seduto su una sedia la cui altezza è regolabile. La distanza tra il soggetto (medico in formazione specialistica) e la piattaforma di simulazione è uguale per tutti.

L'illuminazione dell'ambiente della simulazione è garantita dalla 2 luci led provenienti da due direzioni per contenere l'effetto ombra.

4.4 Fasi dello studio

I candidati oggetti di questo studio sono stati arruolati su base volontaria tra i medici in formazione specialistica in chirurgia pediatrica e neurochirurgia dell'università di Padova e studenti di medicina all'ultimo anno frequentatori del reparto di chirurgia pediatrica.

La prima fase dello studio consiste nella presentazione dello stesso ai partecipanti.

Lo studio viene presentato con l'ausilio di un file PowerPoint mostrando inizialmente la Piattaforma di simulazione, le sue funzioni e i diversi utilizzi della microchirurgia nei diversi ambiti chirurgici.

Successivamente ai candidati viene mostrato e descritto passo dopo passo l'esercizio da svolgere: venotomia del vaso e confezionamento di tre punti staccati, ognuno definito da un nodo doppio piano e due nodi semplici piani per un totale di 9 nodi piani.

Sono presentati ai candidati anche gli errori più comuni da evitare come l'esecuzione dell'esercizio fuori dalla zona di lavoro, per garantire la sua ripresa digitale e quindi l'analisi del movimento degli strumenti. Ulteriori errori sono stati considerati la fuoriuscita dell'ago dal margine della venotomia o la sua lacerazione dovuta a movimenti bruschi con il porta-ago o ad un errato movimento rotazionale del polso durante l'introduzione dell'ago.

Tutti i candidati hanno avuto la possibilità di acquisire familiarità con la piattaforma di simulazione, i microvasi artificiali, il filo da sutura Prolene 7/0 e soprattutto con il campo visivo e le distanze fornite dagli occhiali da microchirurgia Loupes prima delle prove. La familiarizzazione avviene attraverso lo svolgimento del task su alcuni vasi di lattice: i medici e i futuri medici capiscono la fragilità del filo da sutura, la giusta esecuzione dei nodi piani (doppi e semplici) e la giusta forza da apporre durante l'annodamento del punto. Tutto ciò determina un miglioramento della coordinazione visivo-spaziale.

Il terzo step dello studio è l'esecuzione della "Prova Zero" da parte del candidato secondo le condizioni ambientali descritte precedentemente.

A distanza di 10 giorni dalla prima prova, i candidati sono stati richiamati a svolgere la prova, definita "Prova Uno", previa ulteriore descrizione dell'esercizio e dei suoi obiettivi. Tra le due sessioni di simulazione i partecipanti non hanno svolto alcun esercizio di microchirurgia sulla piattaforma in validazione.

Per identificare i partecipanti, ai fini dell'analisi statistica, abbiamo fornito un codice numerico random (da 1 a 19). Alle prove abbiamo attribuito un codice numerico, "0" per la prima prova e "1" per la seconda prova. La familiarizzazione del candidato con gli strumenti e con l'esercizio non è stata valutata e non è stata identificata con alcun codice. Al porta-ago è assegnato il codice 0 mentre alla pinza il codice 1.

Questi codici sono stati forniti per effettuare l'analisi meccanica del movimento delle mani e definire grafici che permettono di osservare come la distanza tra gli strumenti, e quindi delle mani, vari nel tempo.

4.5 Assessment semiquantitativo

Durante entrambe le prove i candidati chirurghi sono valutati attraverso delle variabili positive, definite "Accomplishments" e delle variabili negative "Mistakes".

E' valutato anche il tempo totale per svolgere l'esercizio.

Gli accomplishments e i mistakes eseguiti durante le due prove vengono successivamente confrontati per valutare l'apprendimento del candidato.

Le variabili positive "accomplishments" dello score sono:

- Esecuzione dell'esercizio (entro 15': 5- oltre 15':0)
- Simmetria della sutura (sutura non simmetrica: 0- sutura simmetrica: 5)
- Numero di nodi doppi piani (valore minimo 0- valore massimo 3)
- Numero di nodi semplici piani (valore minimo 0- valore massimo 6)

Gli errori "mistakes" valutati in questo studio sono:

- Numero di passaggi a vuoto (PV)
- Numero di volte per cui l'ago e il filo prendono la parete posteriore del vaso artificiale (PP)
- Numero di volte in cui l'ago cade dal porta-ago (CA).
- Numero di volte per cui il passaggio dell'ago causa una lacerazione del margine della venotomia (LM)
- Numero di punti laschi PL (numero minimo 0- numero massimo 3)
- Numero di volte in cui il filo si rompe RF

La valutazione della progressione delle abilità e dell'apprendimento è stato valutato con l'Analisi decisione Multicriterio (Multi-Criteria Decision Analysis). Nello specifico, è stata utilizzata una combinazione di due diversi modelli cioè la Somma Ponderata e il Quoziente Ponderato per creare uno score semiquantitativo di performance.

Lo score, specifico per questo studio, è definito come il rapporto delle variabili "accomplishments" con la somma delle variabili "Mistakes" e il tempo di esecuzione del task.

Le variabili presenti al numeratore, "accomplishments", non hanno tutte lo stesso valore poichè sono state ponderate: abbiamo dato maggior peso alle variabili "Esecuzione di una sutura simmetrica" e "Esecuzione dell'esercizio in 15" perché lo studio è rivolto a candidati senza alcuna esperienza di base di microchirurgia; abbiamo giudicato come più importanti le due variabili nominate perché più rilevanti per l'apprendimento. Il raggiungimento di questi due goal permette l'acquisizione di 5 punti ciascuno. Il valore "nodi doppi piani" e "nodi singoli piani" invece rispecchia il numero di nodi eseguiti durante la prova perché hanno una rilevanza clinica minore per l'apprendimento.

Al denominatore del rapporto sono presenti le variabili negative o "mistakes" e il Tempo di esecuzione dell'esercizio perché sono eventi che dal punto di vista clinico determinano un peggioramento della qualità dell'esercizio. Entrambe queste variabili sono state ponderate allo stesso modo perché dal punto di vista didattico hanno un minor impatto.

4.6 Analisi della mobilità delle mani

Come descritto nella figura 13, due markers colorati son caricati sugli strumenti di microchirurgia. Il porta-ago ha un marker di colore blu mentre la pinza ha un marker di colore rosso. Le forbici non presentano alcun marker perché il processo di venotomia, cioè la prima parte del task da eseguire, non è stato valutato.

Le prove sono entrambe registrate attraverso uno smartphone caricato sulla piattaforma del trainer regolabile in altezza. L'altezza di quest'ultima è la stessa in tutte le prove in modo che la telecamera riprendesse l'intero piano di lavoro

Il video della prova viene successivamente studiato attraverso un software chiamato "Tracker Video Analysis and Modeling Tool".

Il software in questione divide il video della prova in frame. In questo studio abbiamo deciso di inserire nel database un frame ogni 5 per ridurre la mole di dati derivante da tutti i frames che compongono i video.

Attraverso questo software si studia la posizione del markers rispetto alla variabile tempo quindi la mobilità degli strumenti, e quindi delle mani. E' stato scelto di tracciare il movimento durante lo svolgimento del secondo punto staccato.

I valori forniti per ogni prova sono le coordinate degli strumenti, la velocità, la velocità angolare, il momento angolare, l'accelerazione e l'accelerazione angolare.

4.7 Questionario di gradimento

Dopo aver svolto la seconda prova, ai candidati è stato sottoposto un questionario di gradimento tramite un Modulo Google inviato via mail:

- "Su una scala da 1 a 5, indica quanto è stato utile questa sessione di simulazione di microchirurgia per la tua formazione chirurgica" (valore minimo 1- valore massimo 5)
- "Su una scala da 1 a 5, indica quanto hai migliorato le skills di microchirurgia" (valore minimo 1- valore massimo 5)
- "consigliaresti questa esperienza ai tuoi colleghi?" (valore minimo 1- valore massimo 5)
- "Valuta quanto realistica è stata per te la simulazione" (valore minimo 1- valore massimo 5)
- "Valuta quanto questa esperienza ricade nella tua area di formazione chirurgica" (valore minimo 1- valore massimo 5)

- “Secondo te il simulatore utilizzato è adeguato agli obiettivi di questa sessione di simulazione?” (risposta Si/No)

4.8 Analisi statistica

In questo studio, il campione è stato classificato in percentuali secondo il Post Graduate Year e l'Anno di specializzazione.

Si definisce uno score pari al rapporto tra la somma degli accomplishments e la somma dei mistakes e il tempo di svolgimento del task.

Con la media, la mediana e il Test accoppiato di Wilcoxon si confrontano gli score ottenuti dai candidati nella prima e nella seconda prova.

Il tempo è confrontato attraverso l'utilizzo della media, mediana, deviazione standard e la T di Student.

Le variabili dicotomiche “Simmetria Sutura” e “Esercizio Completo” sono confrontate tramite il Test accoppiato di Wilcoxon. La frequenza di questi due accomplishments è misurata con la percentuale.

La frequenza degli errori è misurata attraverso la percentuale di candidati che li hanno eseguiti nelle due prove.

Per l'analisi del movimento delle mani è stato considerato il confezionamento del secondo punto staccato. Attraverso le coordinate degli strumenti, fornite dal software “Tracker”, si è definita la curva distanza tra strumenti/tempo. Si è confrontata l'area tra le due sessioni di simulazione per ogni candidato attraverso il test accoppiato di Wilcoxon.

I risultati del questionario di gradimento sono espressi con una scala Likert 1-5 in cui 1 è “Per niente”, 5 “Molto”. I risultati sono espressi attraverso la frequenza dei giudizi.

5. RISULTATI

5.1 Descrizione dei candidati

Nello studio in descrizione sono stati intervistati 19 candidati, tra specializzandi e studenti di Medicina.

Tra i 19 candidati troviamo:

- N.2 Studenti di Medicina (11%),
- N. 11 Medici in formazione specialistica della Scuola di Chirurgia Pediatrica (58%),
- n. 4 Medici in formazione specialistica della Scuola di Neurochirurgia (21%).

I candidati medici specializzandi possono essere classificati in base all'anno di formazione specialistica:

- n. 6 medici del 1 anno di formazione specialistica (32%)
- n. 5 medici del 2 anno di formazione specialistica (26%)
- n. 4 medici del 3 anno di formazione specialistica (22%)
- n. 1 medico del 4 anno di formazione specialistica (5%)
- n. 1 medico del 5 anno di formazione specialistica (5%)

Il Post Graduate Year può essere utilizzato per descrivere i candidati medici che hanno partecipato allo studio.

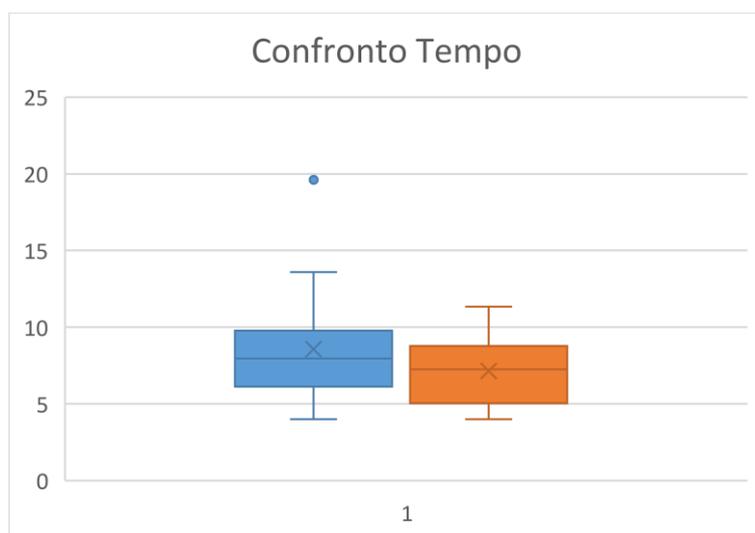
- n. 3 medici PGY1
- n. 7 medici PGY2
- n. 2 medici PGY4
- n. 3 medici PGY5
- n. 1 medico PGY6
- n. 1 medico PGY7
- n. 2 candidati PGY0

Non in tutti i casi il PGY corrisponde all'anno di formazione specialistica.

Solo il 5% dei candidati (n.1) non ha eseguito tutti gli step dello studio: ha eseguito solo la prova di familiarizzazione con gli strumenti e con l'ambiente della simulazione e la prima sessione di simulazione.

5.2 Descrizione delle variabili valutate

Durante entrambe le prove i candidati sono valutati attraverso la compilazione di una tabella "accomplishments" e "mistakes". (Tab. III-Tab. IV) Si confronta, inoltre, il tempo impiegato per concludere i task tra le due prove.

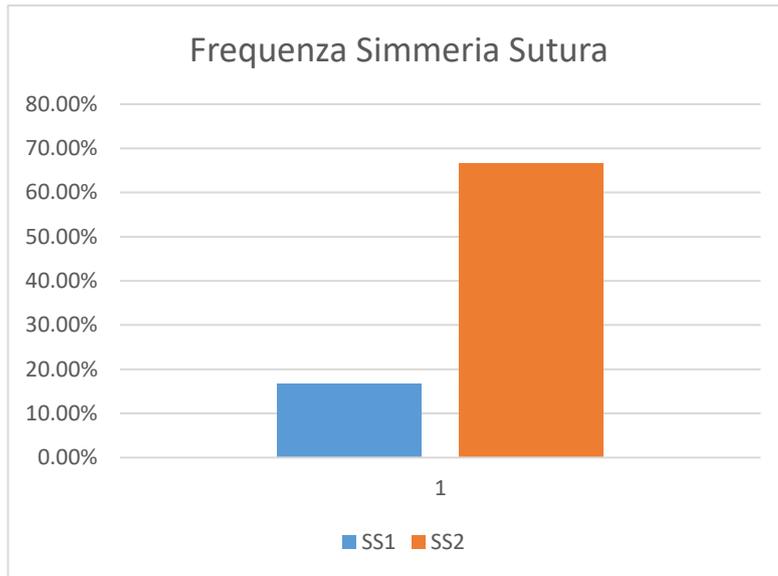


Tab. III BoxPlot Tempo Prima e Seconda prova

Il tempo impiegato per svolgere l'esercizio nella prima prova è $8'34'' \pm 3'37''$.

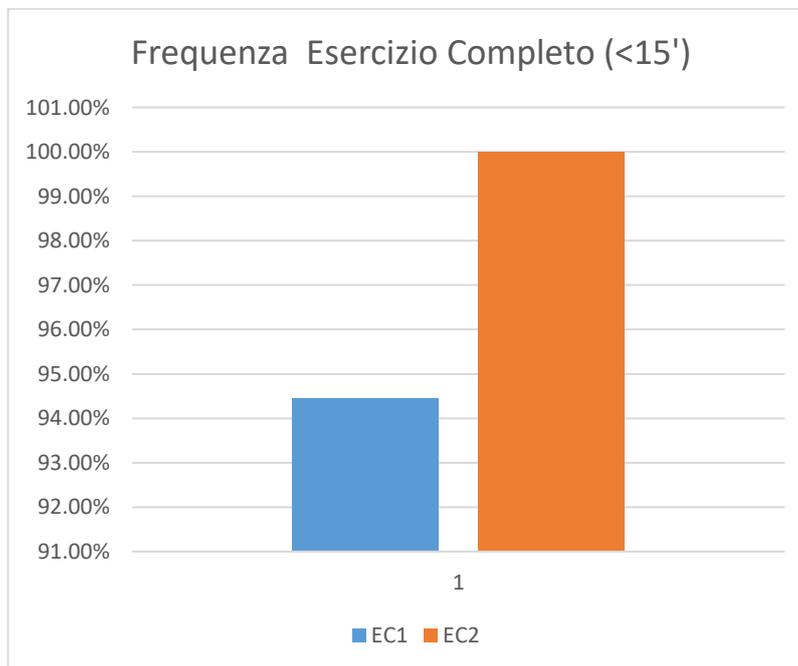
Il tempo per svolgere la seconda prova è $7'1.'' \pm 2'2''$. (Tab.III)

La variabile tempo è stata confrontata attraverso la T di Student: la correlazione non è risultata significativa,



Tab. IV Frequenza nelle prove di Simmetria della Sutura

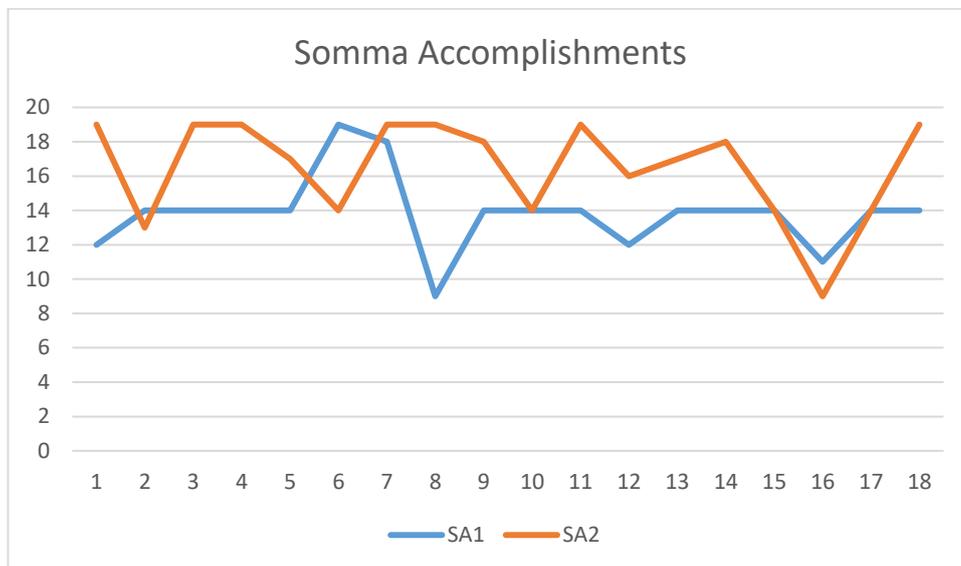
Confrontando la variabile Simmetria Sutura tra le due prove attraverso il Test accoppiato di Wilcoxon, la p-value ha un valore di 0.00666: la correlazione è statisticamente significativa. (Tab. IV)



Tab. V Frequenza Esercizio Completo nella Prima e Seconda prova

La correlazione tra la frequenza dell'Esercizio completo tra la prova 0 e la prova 1 non è significativa ($p=0.31731$).

Confrontando la somma degli accomplishments (Tab. VI) tra le due prove attraverso il Test di Wilcoxon, la p-value è 0.01106 (statisticamente significativo).



Tab.VI

Confrontando la somma degli errori tramite il Test accoppiato di Wilcoxon, la p-value è 0.19371 (statisticamente non significativo).

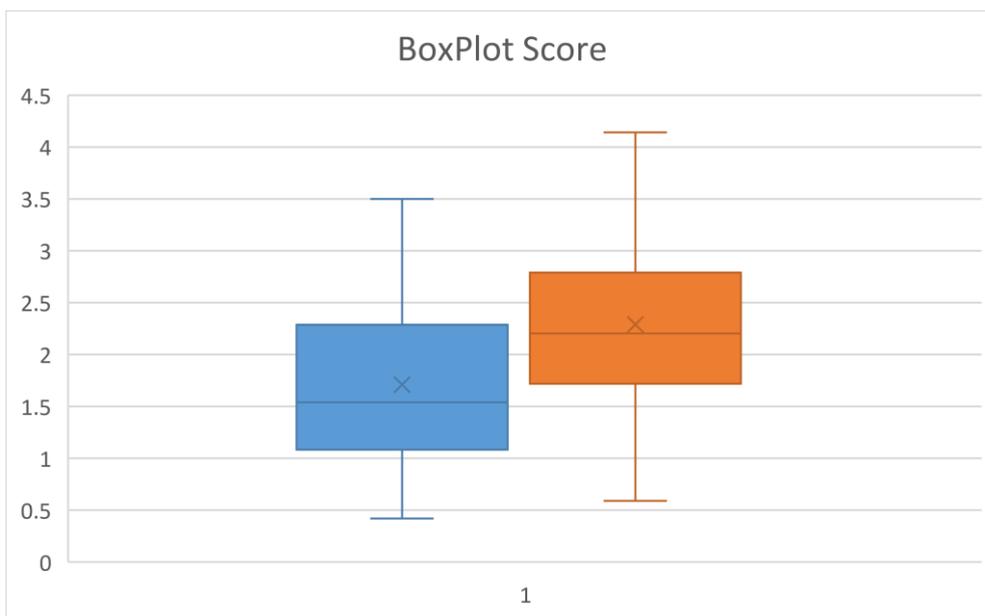
Confrontando i singoli errori, quindi "Rottura Filo", "Ago prende parete posteriore", "Punti laschi", "Passaggio a vuoto", "Lacerazione margine venotomia" tra le due sessioni di simulazione tramite il Test accoppiato di Wilcoxon, la correlazione non è significativa. ($P > 0.05$).

Per il 100% dei candidati non si è mai verificato il mistake "Caduta dell'ago" in alcuna delle due sessioni svolte.

5.3 Score semiquantitativo

Per valutare la progressione dell'apprendimento e dell'esecuzione del task, abbiamo definito uno score semiquantitativo di performance.

Lo score utilizzato nello studio è il rapporto tra la somma degli accomplishments e la somma dei mistakes col tempo di esecuzione dell'esercizio.



Tab. VI BoxPlot Score tra la Prova 0 e la Prova 1

La correlazione tra gli score calcolati per la prova 0 e la prova 1 tramite il Test accoppiato di Wilcoxon è significativo. ($p=0.02685$)

5.4 Dati quantitativi

Nelle tabelle VIII-IX sono mostrate la media, mediana, la deviazione standard e il primo e terzo quartile della velocità e dell'accelerazione degli strumenti nelle due prove.

		MEDIA	MEDIANA	1 quartile	3 quartile	d.st.
Porta-ago	Prova 1	1.77	0.915	0.337	2.17	2.45
Porta-ago	Prova 2	1.66	0.808	0.305	2.04	2.36
Pinza	Prova 1	2	0.961	0.291	2.56	2.79
Pinza	Prova 2	2.2	0.998	0.282	2.86	3.05

Tab. VIII Velocità media strumenti nelle due prove.

		MEDIA	MEDIANA	1 quartile	3 quartile	d.st.
Porta-ago	Prova 1	5.93	3.06	1.13	7.31	8.09
Porta-ago	Prova 2	5.69	2.79	1.02	7.15	7.93
Pinza	Prova 1	6.05	3.09	1.01	7.98	8.06
Pinza	Prova 2	7.13	3.5	1.01	9.44	9.54

Tab. IX Accelerazione media in strumenti e prove

Attraverso l'analisi delle coordinate degli strumenti di microchirurgia, con la piattaforma statistica R, abbiamo definito le curve che mettono in relazione la distanza tra i due strumenti e il tempo nelle due prove.

Calcolando l'area sotto le curve descritte e confrontandole tra le due esperienze con il Test accoppiato di Wilcoxon, la correlazione non è risultata statisticamente significativa. (p-value=0.7969).

5.5 Questionario di gradimento

Al questionario di gradimento hanno risposto 15 candidati (83%). Le frequenze segnate per ogni risposta sono relative ai candidati che hanno partecipato al questionario. (Fig. 14.1-14.2-14.3-14.4-14.5-14.6)

10 candidati (66.7%) non hanno mai svolto alcuna sessione di simulazione prima di quella descritta in questo studio.

13 candidati (86.7%) non hanno mai svolto attività di microchirurgia in laboratorio o in sala operatoria.

Su una scala da 1 a 5, indica quanto è stato utile questa sessione di simulazione di microchirurgia per la tua formazione chirurgica

15 risposte

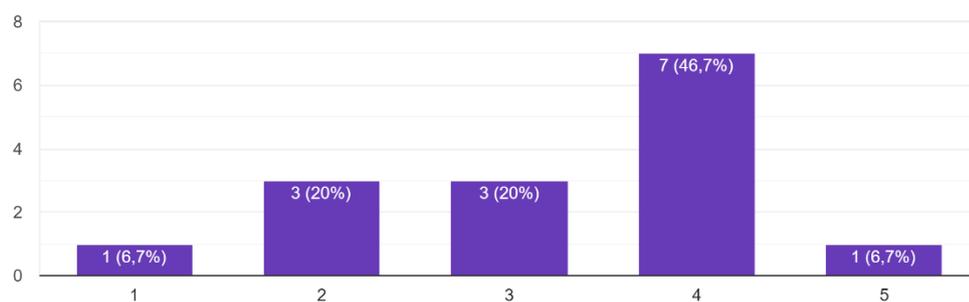


Fig. 14.1

Su una scala da 1 a 5, indica quanto hai migliorato le skills di microchirurgia

15 risposte

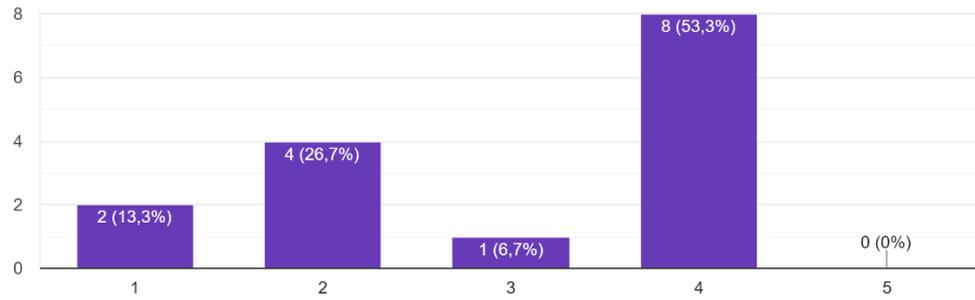


Fig 14.2

consigliaresti questa esperienza ai tuoi colleghi?

15 risposte

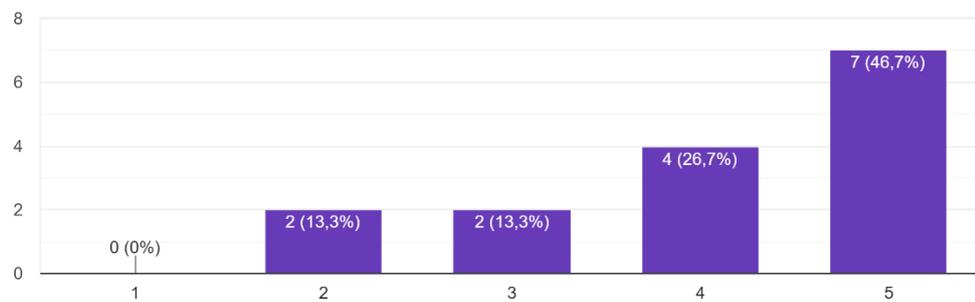


Fig. 14.3

Valuta quanto realistica è stata per te la simulazione

15 risposte

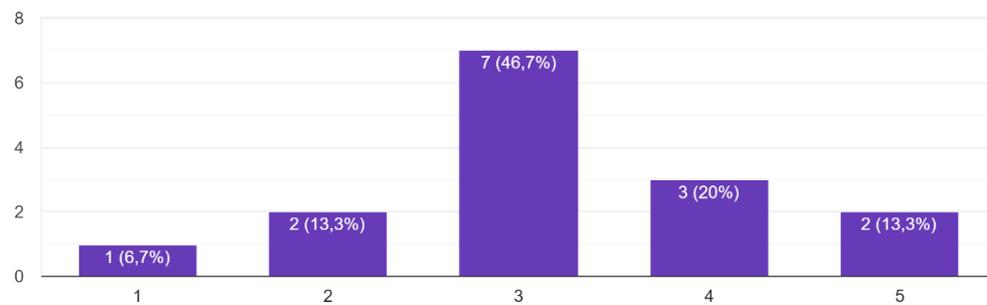


Fig. 14.4

Valuta quanto questa esperienza ricade nella tua area di formazione chirurgica

15 risposte

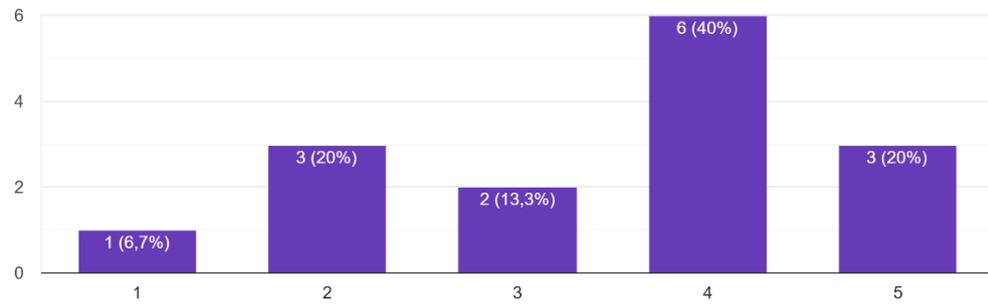


Fig 14.5

Secondo te il simulatore utilizzato è adeguato per gli obiettivi di questa sessione di simulazione?

15 risposte

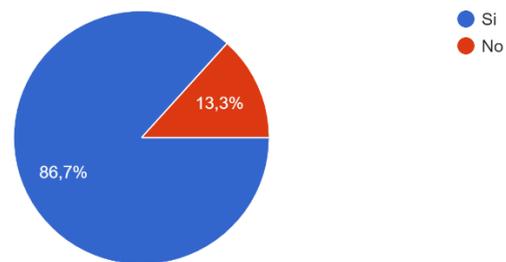


Fig. 14.6

6. DISCUSSIONE

La microchirurgia è una tecnica chirurgica specialistica. È sempre stata omessa dal training chirurgico a causa di direttive europee sulle ore lavorative.

L'esperienza in sala operatoria non è certamente sostituibile con le simulazioni e corsi di perfezionamento ma questi risultano essere un importante strumento nella fase di apprendimento.

4 candidati (28.6%) hanno svolto delle simulazioni in ambito medico prima di questa. Solo 2 candidati (13.3%) hanno svolto delle esercitazioni di microchirurgia in sala operatoria o in laboratorio prima di questa esperienza: tutti i candidati partecipanti in questo studio non hanno alcuna esperienza nell'eseguire task di microchirurgia.

6.1 Descrizione performance

Dalle tabelle precedenti si può notare che per 13 candidati (72%) il tempo di esecuzione dell'esercizio diminuisce nella seconda prova. Per 4 candidati (22%) invece, il tempo di esecuzione dell'esercizio è maggiore nella seconda prova mentre per 1 candidato (6%) il tempo di esecuzione delle due prove è esattamente lo stesso.

Per 8 candidati (44%) la performance è migliorata, cioè si ha un aumento degli accomplishments o, se questi ultimi sono uguali nelle due prove, si ha una diminuzione degli errori. Tra questi candidati, 7 hanno presentato un aumento del numero di goal raggiunti e 1 candidato ha eseguito nella seconda prova un egual numero di accomplishments ma un minor numero di errori rispetto alla prima prova.

2 candidati (11%) hanno ricevuto le stesse valutazioni per entrambe le prove: non hanno presentato né un miglioramento né un peggioramento della performance.

La performance appena descritta non considera, però, il tempo di esecuzione dell'esercizio di microchirurgia.

Solo 3 candidati (16.7%) hanno svolto nella prima prova una sutura simmetrica. Questa variabile nella seconda prova ha avuto un grande miglioramento poiché 12 candidati (66.7%) hanno eseguito una sutura simmetrica nel piano longitudinale e trasversale rispetto al margine della venotomia.

17 candidati (94.45%) nella prima hanno terminato il task entro 15'. Il 100% dei candidati nella seconda prova ha completato l'esercizio entro il tempo stabilito.

Il numero di mistakes eseguiti durante le due prove è uguale per 8 candidati (44%). 7 (39%) candidati hanno svolto la seconda prova confezionando meno errori rispetto alla prima prova e 3 candidati (17%) invece ne hanno eseguiti di più.

6.2 Analisi semiquantitativa

Lo score utilizzato in questo studio è diverso dagli score utilizzati generalmente nella valutazione di abilità di microchirurgia.

Lo score utilizzato è customizzato per lo scopo dello studio in questione. Abbiamo fornito 5 punti bonus ai candidati che hanno terminato il task entro un limite di tempo deciso precedentemente, cioè 15 minuti dalla venotomia e ulteriori 5 punti bonus ai candidati che hanno eseguito una sutura simmetrica nel piano longitudinale e trasversale della venotomia. Questi punti bonus sono stati forniti perché abbiamo considerato questi due goal come quelli più importanti.

La variabile "tempo" è stata inclusa nella definizione dello score: i minuti sono stati trasformati in numeri interi mentre i secondi in numeri decimali. Il tempo di esecuzione è stato considerato come una variabile negativa: è inversamente proporzionale allo score. Ciò significa che un tempo di completamento minore, a parità di accomplishments e mistakes, determina uno score di performance maggiore.

In questo studio la diminuzione del tempo di completamento è considerata come un indice di miglioramento ma nella pratica clinica non sempre corrisponde ad un miglioramento della performance.

In questo studio si evince un generale aumento dello score tra le due sessioni di microchirurgia. Ciò è dovuto ad un aumento generale degli accomplishments (valori al numeratore del rapporto) e/o ad una diminuzione del tempo di esecuzione e dei mistakes, presenti invece al denominatore del rapporto.

4 candidati (22%) hanno dimostrato un peggioramento della performance; quindi, una diminuzione dello score tra le due prove mentre 14 candidati (78%) hanno presentato un aumento dello score.

La correlazione tra gli score ottenuti nella prova 0 e nella prova 1, calcolata attraverso il test accoppiato di Wilcoxon, è statisticamente significativa.

Inoltre, osservando la media del tempo per ogni sessione, si ha una diminuzione del tempo di esecuzione del task tra le due prove.

6.3 Analisi dati quantitativi

Dall'analisi quantitativa si evince che la velocità e l'accelerazione del porta-ago diminuiscono con l'acquisizione di abilità visuo-spaziale, mentre quelle della pinza aumentano.

Calcolando tramite il Test accoppiato di Wilcoxon le aree sotto le curve "distanza tra strumenti/tempo" la correlazione, però, non è significativa.

Nelle immagini sottostanti è possibile confrontare le curve che rapportano la distanza e il tempo di esecuzione.

L'analisi della mobilità degli strumenti è stata eseguita durante il confezionamento del secondo punto staccato. La risultante curva distanza/tempo rappresenta i movimenti delle mani nelle due dimensioni: non è stato valutato il movimento sull'asse z.

L'esecuzione del task è stata registrata con uno smartphone posto sulla parte superiore del simulatore. Il software "Tracker Video Analysis and Modeling Tool" ha analizzato i video catturando il movimento di pins colorati posizionati sui due strumenti di microchirurgia, e quindi il movimento delle mani.

Ogni video è formato da fotogrammi e la distanza tra i frame che compongono ogni video è di 0.04 secondi. A causa della enorme quantità di fotogrammi che forma ogni video, è stato deciso di analizzare 1 frame ogni 5 e quindi di valutare il movimento dei pins ogni 0.2 secondi.

Ogni punto staccato è definito da un nodo doppio piano e due nodi semplici piani. Il confezionamento di ogni nodo, più precisamente il momento in cui si chiude il nodo, graficamente è rappresentato da spike, quindi da un aumento della distanza tra gli strumenti. La distanza tra gli strumenti dipende anche dalla lunghezza del filo da sutura, fattore scelto prima di iniziare la sessione di simulazione da ogni candidato.

Quando gli strumenti fuoriuscivano dal campo di lavoro, sono state attribuite delle coordinate corrispondenti al punto più esterno del campo di lavoro. (Fig. 15.1-15.2)

Il movimento delle mani soprattutto nei soggetti naive, al contrario di quelle di braccia robotiche o di chirurghi esperti in tecniche di microchirurgia, non è fluido a causa di oscillazioni sulle due dimensioni. Ciò graficamente è rappresentato da oscillazioni presenti in tutta la curva, tranne nel momento di chiusura del nodo.

L'assenza di un controllo non ci permette di confrontare la fluidità del movimento dei chirurghi partecipanti con quella di chirurghi esperti di microchirurgia; inoltre, la presenza di solo due sessioni di simulazione, permette di definire solo un confronto: ciò non consente di definire un possibile miglioramento tra le due sessioni di simulazione.

Da queste analisi, in futuro, si potrebbe eliminare dalla curva il rumore di base, definire la frequenza di oscillazione involontaria delle mani (tremore delle mani) nelle due dimensioni e come questa cambia in base all'esperienza del candidato, ottenere la curva di apprendimento e definire dopo quante ripetizioni mediamente si raggiunge la condizione di mastery.

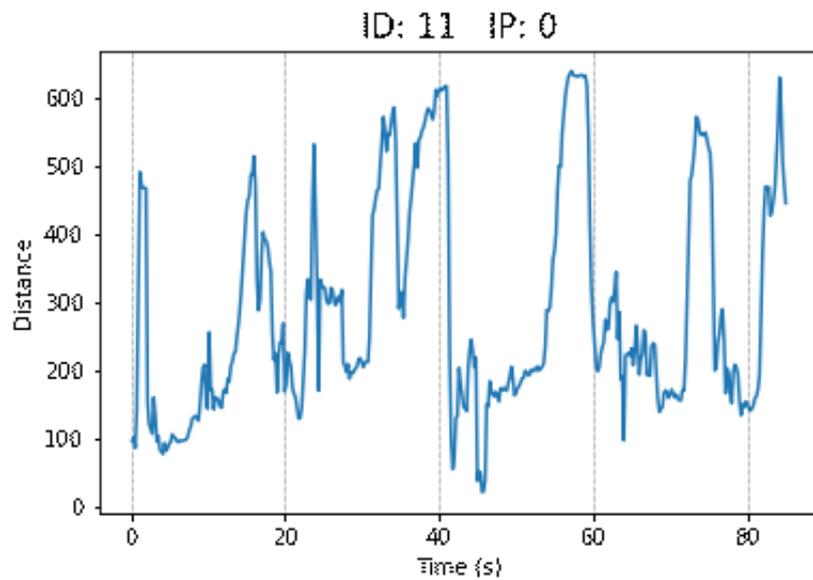


Fig. 15.1 Curva “distanza strumenti/tempo” Prova 0

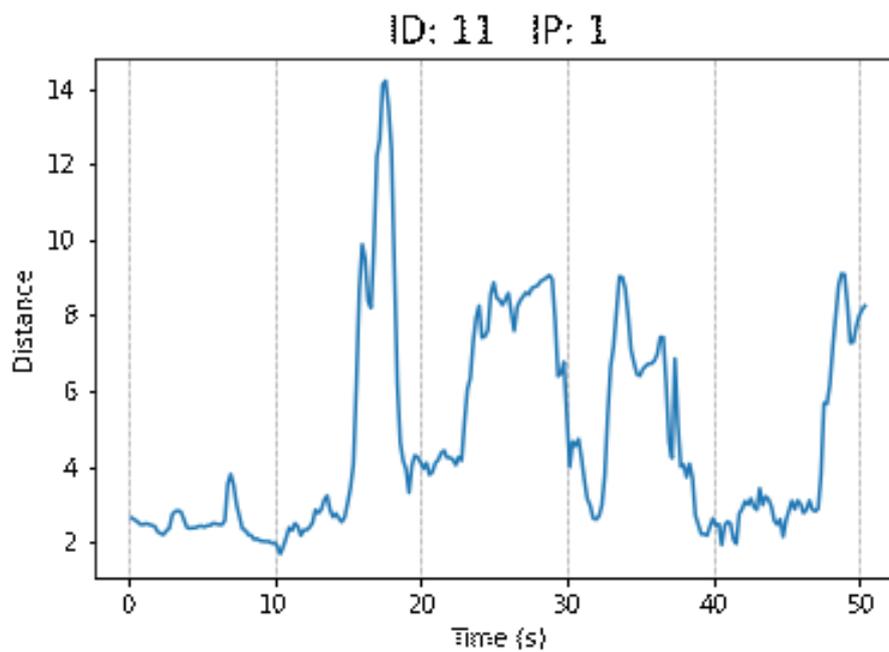


Fig. 15.2: curva “distanza strumenti/tempo” Prova 1

6.4 Questionario di gradimento

I candidati hanno valutato l’esperienza di simulazione attraverso una scala Likert 1-5 in cui 1 è “per niente” e 5 è “Tantissimo”.

Il 66% dei candidati ha fornito un feedback sulla sessione di simulazione con un giudizio tra compreso tra 3 e 5 sulla fedeltà della simulazione; l'86% sostiene di aver migliorato le proprie abilità di microchirurgia anche se in solo due sessioni con un punteggio tra 2 e 4.

Tutti i candidati hanno consigliato questa esperienza ad altri colleghi.

Il 73.3% dei candidati ritiene, con un giudizio 3-5, che questa esperienza di simulazione microchirurgia rientri nella propria formazione chirurgica, e 13 candidati (86.7%) pensano che questo simulatore sia adeguato per raggiungere il livello di mastery in anastomosi microvascolari.

6.5 Limiti dello studio e prospettive future

Questa tesi è l'inizio di uno studio che sarà proseguito in futuro per ampliare i risultati ottenuti.

Questo studio presenta punti di forza e punti di debolezza.

Uno dei punti di forza è sicuramente l'impatto che potrebbe apportare alla fase di apprendimento e perfezionamento delle tecniche chirurgiche dei giovani medici perché ancora basato sull'osservazione di un chirurgo senior in sala operatoria.

Un secondo punto di forza è che questo studio tratta dell'apprendimento basato sull'utilizzo di piattaforme di simulazione, argomento ancora poco trattato in letteratura ma che sicuramente sarà molto più diffuso in futuro grazie a training sempre meno dispersivi, e più mirati quindi all'acquisizione di competenze specifiche.

Le simulazioni inoltre permettono anche di valutare il miglioramento delle skills utilizzate durante l'esecuzione del task e di definire una curva di apprendimento.

Un vantaggio dell'utilizzo delle simulazioni in ambiente clinico è la possibilità di formazione delle figure ospedaliere in un ambiente sicuro per garantire l'acquisizione di competenze utilizzabili successivamente in sala operatoria, fenomeno descritto in letteratura con "transfer skill".

Coinvolgendo più candidati, tra studenti di medicina, medici in formazione specialistica e medici specializzati in questo studio, si potrebbe confrontare la frequenza degli errori, la coordinazione visuo-spaziale e la steadiness dei movimenti e determinare come questi cambiano in relazione al PGY.

Continuando questa indagine, si potrebbe dimostrare il progressivo miglioramento delle tecniche chirurgiche andando anche ad analizzare il prodotto finale cioè la pervietà e l'indice di stenosi. Ciò si può attuare utilizzando l'impianto idrico del simulatore.

Uno dei punti di forza di questo studio è l'utilizzo dei vasi artificiali in PVA (alcol polivinilico), perché ricrea la consistenza e la texture umida di un vaso umano.

Le prove sono state eseguite nello stesso luogo e con le stesse condizioni di luminosità grazie a diversi sistemi di illuminazione che hanno garantito l'assenza di zone di oscurità.

Tra i limiti di questo studio è presente il definito numero di candidati che non ha permesso di confrontare, secondo il Post Graduate Year, le diverse variabili considerate cioè lo score, gli accomplishments, gli errori e il tempo impiegato.

I candidati hanno svolto l'esercizio oggetto di studio solo 2 volte e ciò non ha concesso di dimostrare un significativo miglioramento della performance, il raggiungimento della condizione di mastery e la creazione di una learning curve.

L'esecuzione dell'esercizio è valutata attraverso lo score semiquantitativo descritto e l'analisi del movimento delle mani. In questo studio non è stata attuata l'analisi del prodotto finale: non sono stati effettuati test di pervietà e di stenosi quindi si ha un assessment limitato della abilità di microchirurgia.

La relativa facilità del task da eseguire inoltre ha permesso al 100% dei candidati, soprattutto nella seconda prova, di svolgere l'esercizio in 15 minuti e quindi di acquisire 5 punti bonus.

Far svolgere i task descritti con la stessa lunghezza dal filo da sutura potrebbe inoltre farci distinguere il grado di esperienza e di abilità di microchirurgia con il Post Graduate Year.

È necessario definire una curva “distanza tra strumenti/tempo” che evidenzi il movimento delle mani finalizzati ad eseguire il task e quindi filtrare il rumore di base come il tremore delle mani.

Si può non verificare l'apprendimento nelle fasi iniziali del training: ciò è dovuto a diverse condizioni come il bisogno di familiarizzare nuovamente con gli strumenti oppure semplicemente non è il metodo di apprendimento adatto.

7. CONCLUSIONI

Lo scopo dello studio è quello di validare la piattaforma di simulazione di microchirurgia “Trainer NeuroVascolare Avanzato” e includere questa esperienza nel training in Chirurgia Pediatrica e in Neurochirurgia dell’Azienda Ospedaliera di Padova.

Lo score qualitativo creato per il task oggetto di studio ha dimostrato un miglioramento della performance e quindi il potenziamento delle abilità di microchirurgia, nonostante il numero limitato di esperienze con il simulatore.

I risultati ottenuti sembrano essere incoraggianti nonostante le limitazioni descritte in precedenza. I dati in possesso ci permettono di affermare che la simulazione determini un aumento delle competenze nelle figure ospedaliere.

La piattaforma di simulazione “trainer NeuroVascolare Avanzato” si è dimostrato un valido strumento per il conseguimento di competenze di microchirurgia.

Le potenzialità di questo simulatore permetteranno di ampliare e proseguire questo studio per ottenere maggiori dati sull’acquisizione di skills e quindi sulla validità di questa piattaforma come strumento di apprendimento.

CONFLITTO D’INTERESSE

La piattaforma trainer è stata acquistata dalla Scuola di Specializzazione in Chirurgia Pediatrica dell’università di Padova. Il materiale utilizzato per questo studio è stato fornito dalla ditta Iatroteck srl, che non ha influenzato in nessun modo il disegno dello studio o la sua conduzione in nessuna delle sue fasi.

Bibliografia

1. Current status of simulation and training models in microsurgery_ A systematic review _ Enhanced Reader.
2. Alloni R. *LA SIMULAZIONE: UN'INNOVATIVA METODOLOGIA DIDATTICA NELLA FORMAZIONE DEGLI OPERATORI SANITARI SIMULATION: AN INNOVATIVE TEACHING METHODOLOGY IN THE EDUCATION OF HEALTH-CARE PROVIDERS L'uso Della Simulazione Nella Formazione Chirurgica Simulation in Surgical Education*. Vol 23.; 2015.
3. Evgeniou E, Loizou P. Simulation-based surgical education. *ANZ Journal of Surgery*. 2013;83(9):619-623. doi:10.1111/j.1445-2197.2012.06315.x
4. Bjerrum F, Thomsen ASS, Nayahangan LJ, Konge L. Surgical simulation: Current practices and future perspectives for technical skills training. *Medical Teacher*. 2018;40(7):668-675. doi:10.1080/0142159X.2018.1472754
5. Tan SSY, Sarker SK. Simulation in surgery: A review. *Scottish Medical Journal*. 2011;56(2):104-109. doi:10.1258/smj.2011.011098
6. Pacilli M, Clarke SA. Simulation-based education for paediatric surgeons: Does it really improve technical skills? *Seminars in Pediatric Surgery*. 2020;29(2). doi:10.1016/j.sempedsurg.2020.150905
7. Rehder R, Abd-El-Barr M, Hooten K, Weinstock P, Madsen JR, Cohen AR. The role of simulation in neurosurgery. *Child's Nervous System*. 2016;32(1):43-54. doi:10.1007/s00381-015-2923-z
8. Malone HR, Syed ON, Downes MS, D'ambrosio AL, Quest DO, Kaiser MG. Simulation in neurosurgery: A review of computer-based simulation environments and their surgical applications. *Neurosurgery*. 2010;67(4):1105-1116. doi:10.1227/NEU.0b013e3181ee46d0
9. Balasundaram I, Aggarwal R, Darzi LA. Development of a training curriculum for microsurgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;48(8):598-606. doi:10.1016/J.BJOMS.2009.11.010
10. Nabavi A, Schipper J. Op.-Simulation in der Chirurgie. *HNO*. 2017;65(1):7-12. doi:10.1007/s00106-016-0248-1
11. Kneebone R. *Simulation in Surgical Training: Educational Issues and Practical Implications*.
12. Cosman P, Hemli JM, Ellis AM, Hugh TJ. Learning the surgical craft: A review of skills training options. *ANZ Journal of Surgery*. 2007;77(10):838-845. doi:10.1111/j.1445-2197.2007.04254.x
13. Herrera-Aliaga E, Estrada LD. Trends and Innovations of Simulation for Twenty First Century Medical Education. *Frontiers in Public Health*. 2022;10. doi:10.3389/fpubh.2022.619769

14. Società italiana di microchirurgia., Timeo. *Manuale Di Microchirurgia : Dalle Tecniche Di Base a Quelle Avanzate*. Timeo; 2015.
15. Mavrogenis AF, Markatos K, Saranteas T, et al. The history of microsurgery. *European Journal of Orthopaedic Surgery and Traumatology*. 2019;29(2):247-254. doi:10.1007/s00590-019-02378-7
16. Masia J, Sanchez-Porro L, Vega C, et al. New Paradigms in Reconstructive Microsurgery Education. *Annals of Plastic Surgery*. 2019;83(3):243-246. doi:10.1097/SAP.0000000000001825
17. Green CJ. *Review Paper Microsurgery in the Clinic and Laboratory**. Vol 2.
18. Niveditha M, Sharma R, Suri A. Microsurgical suturing assessment scores: a systematic review. *Neurosurgical Review*. 2022;45(1):119-124. doi:10.1007/s10143-021-01569-3
19. Ramachandran S, Ghanem AM, Myers SR. Assessment of microsurgery competency-where are we now? *Microsurgery*. 2013;33(5):406-415. doi:10.1002/micr.22111
20. Izadpanah A, Moran SL. Pediatric Microsurgery: A Global Overview. *Clinics in Plastic Surgery*. 2017;44(2):313-324. doi:10.1016/j.cps.2016.12.001
21. Zuo KJ, Draginov A, Panossian A, et al. Microvascular hepatic artery anastomosis in pediatric living donor liver transplantation: 73 Consecutive cases performed by a single surgeon. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2018;142(6):1609-1619. doi:10.1097/PRS.0000000000005044
22. Beris A, Kostas-Agnantis I, Gkiatas I, Gatsios D, Fotiadis D, Korompilias A. Microsurgery training: A combined educational program. *Injury*. 2020;51:S131-S134. doi:10.1016/J.INJURY.2020.03.016
23. Retrosi G, Morris M, McGavock J. Does personal learning style predict the ability to learn laparoscopic surgery? a pilot study. *Journal of Laparoendoscopic and Advanced Surgical Techniques*. 2019;29(1):98-102. doi:10.1089/lap.2018.0196
24. Pusic M v., Boutis K, Hatala R, Cook DA. Learning Curves in Health Professions Education. *Academic Medicine*. 2015;90(8):1034-1042. doi:10.1097/ACM.0000000000000681
25. Moorthy K, Munz Y, Dosis A, Bello F, Darzi A. Motion analysis in the training and assessment of minimally invasive surgery. *Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies*. 2003;12(3-4):137-142. doi:10.1080/13645700310011233
26. Dosis A, Aggarwal R, Bello F, et al. *Synchronized Video and Motion Analysis for the Assessment of Procedures in the Operating Theater*.
27. Chan WY, Niranjan N, Ramakrishnan V. Structured assessment of microsurgery skills in the clinical setting. In: *Journal of Plastic,*

Reconstructive and Aesthetic Surgery. Vol 63. ; 2010:1329-1334.
doi:10.1016/j.bjps.2009.06.024