

DISS. ETH No. 29096

Computer-based Virtual Environment Simulations for Differential Diagnosis in Medical Education

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES

(Dr. sc. ETH Zürich)

presented by

CHRISTIAN FÄSSLER

MSc in Biomedical Engineering, ETH Zürich

born on 30.09.1990

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Manu Kapur (examiner)

Prof. Dr. Jörg Goldhahn (co-examiner)

Prof. Dr. Inga Glogger-Frey (co-examiner)

Prof. Dr. Mirko Meboldt (co-examiner)

2023

Summary

A major problem in medical education is that the clinical knowledge and clinical reasoning skills acquired through university teaching do not transfer well to clinical practice. Despite acquiring massive amounts of content knowledge about the functioning of the human body, medical students struggle to transfer that knowledge to one of the core disciplinary practices - differential diagnosis. The lack to transfer may stem from current instruction methods which is focused primarily on imparting massive amounts of basic content knowledge without adequate attention to situate this knowledge in disciplinary practice. A possible solution to this problem is to expose and link the learning of medical students to the practice of differential diagnosis. This approach is supported by theories of situated cognition. Whilst I acknowledge that there are several options to integrate situated learning, I aimed to explore the use of medical computer-based virtual environment (CVE) simulations. In empirical research it has yet to be shown how, when, and why CVE simulations are effective in medical education and enhancing transfer. Accordingly, the first major goal of this thesis was to overcome the issue of transfer in differential diagnosis by using a situated learning approach. The second goal was to explore how, when, and why CVE simulations are effective and they enhance transfer. Inter alia, the ability to transfer is important because medical students cannot be confronted with all possible situations in their medical studies they will face later in their professional career as doctors. In my studies, I focused on clinical knowledge and the conceptual aspects of differential diagnosis and not on the manual execution of procedures. Due to Corona-Virus-19 issues, most study activities in this thesis were conducted remotely where participants worked individually from home.

In the first study of this thesis, I used a problem-solving prior to direct instruction versus instruction first experimental design to examine the effect of problem-solving in CVEs on isomorphic testing and transfer outcomes assessing declarative and conceptual clinical

knowledge and clinical reasoning skills, along with evoked learning mechanisms. I found neither of the learning activity sequences to be superior to the other. However, when looking at the two learning activities individually, I found that problem-solving in CVEs as well as direct instruction are equally effective for learning declarative and conceptual clinical knowledge. On the other hand, problem-solving in CVE with formative feedback is more effective for learning clinical reasoning skills than mere instruction.

In the second cohort-based study, I explored the influence of semester-long exposure to problem-solving in CVE prior to introductory lectures versus interactive group discussions preceding the lectures in an introductory course on performance in a successive advanced course in the medical trajectory, both related to differential diagnosis. Using a double transfer experimental design, I compared the effects of the two teaching approaches on acquisition of clinical knowledge, transfer of clinical reasoning skills, and students' satisfaction and self-confidence in learning. I found both group discussion and CVE problem-solving preceding an instructional lecture to prepare students for the acquisition of declarative and conceptual clinical knowledge in an advanced differential diagnosis course. However, the group discussions preceding the lecture seem to be more effective than CVE problem-solving preceding the lecture. Furthermore, I found interactive group discussions preceding the lecture in the basic differential diagnosis course to be more effective in enhancing clinical reasoning skills transfer, but only when the transfer problem featured specific configurations. However, I did not find a difference in satisfaction and self-confidence in learning with simulations between cohorts nor any mediating effect of simulation design features on learning outcomes. However, CVE problem-solving preceding the instructional lecture was equally effective than group discussions in (a) enhancing transfer of clinical reasoning skills when specific testing configurations were met and (b) preparing students for the acquisition of declarative and conceptual clinical knowledge. Consequently, from a practical side of view CVE problem-

solving seems to be a plausible alternative to group discussions as preparatory activity for following instruction.

In the third study I extended the research on the problem-solving prior to instruction approach and put the findings of study 1 into practice to further enhance the acquisition and transfer of clinical knowledge and clinical reasoning skills through problem-solving in CVE prior to instruction. I did so by altering the timing of provided formative feedback during the CVE problem-solving phase. This was represented by instant, delayed, and no feedback provision. Again, I evaluated triggered learning mechanism. The findings of this third study indicated that all three timings of investigated feedback are eligible because none of them had detrimental effects on learning. However, if and at what point in time feedback should be provided to optimally enhance learning, heavily depends on the targeted learning outcome, which might be clinical declarative or conceptual knowledge, clinical reasoning skills, and respective acquisition or transfer.

With my thesis I (a) filled the gap in the learning sciences research of how, when, and why CVE simulations are effective in medical education, (b) examined the extent to which medical CVE simulations can enhance isomorphic testing outcomes and transfer of clinical knowledge and clinical reasoning skills, and (c) derived principles for when and how to best implement such CVE patient scenarios for differential diagnosis into a medical curriculum. The findings of my first study indicate that the problem-solving learning activity in CVEs seems to be more effective for learning clinical reasoning skills than direct instruction. When combined, the sequence of the two learning activities seems to play a minor role for learning outcomes as there were no significant differences in learning outcomes. The findings of my second study indicate that students might benefit better from interactive group discussion as preparatory activity for an introductory lecture than from individual CVE problem-solving for enhancing transfer of clinical knowledge and clinical reasoning skills. However, CVE

problem-solving as preparatory activity for following instruction seems to be a plausible alternative. Furthermore, the second study revealed some supplementary details to the first study. It indicated that collaborative activities prior to instruction might be more effective for learning than individual problem-solving preceding the instruction, especially for learning clinical reasoning skills. The findings of my third study indicate that whether and when feedback during or after CVE problem-solving prior to instruction should be implemented, primarily depends on whether clinical knowledge or clinical reasoning skills, respectively their acquisition or transfer is the targeted learning outcome. The findings of the present thesis have a high level of ecological validity because all studies took place in settings where (a) data were derived from real teaching settings or (b) students had to perform learning and testing tasks autonomously from home due to Corona-Virus-19 issues.

Zusammenfassung

Ein grosses Problem in der medizinischen Ausbildung besteht darin, dass das in der Universitätslehre erworbene klinische Wissen und Kompetenzen in der klinischen Argumentation (Clinical Reasoning) nicht gut in die klinische Praxis übertragen werden können. Trotz des Erwerbs enormer Mengen an Wissensinhalten über die Funktionsweise des menschlichen Körpers, haben Medizinstudierende Schwierigkeiten, dieses Wissen auf eine Kerndisziplinen der Medizin zu übertragen – die Differentialdiagnostik. Der Mangel an solchem Transfer kann auf derzeitige Unterrichtsmethoden zurückgeführt werden. Der Fokus dieser Methoden liegt hauptsächlich auf der Vermittlung massiver Mengen an Basiswissen, ohne darauf zu achten, dieses Wissen dabei angemessen mit der klinischen Anwendung zu verknüpfen. Eine mögliche Lösung für dieses Problem besteht darin, das Lernen von Medizinstudierenden mit der Praxis der Differentialdiagnostik zu verknüpfen. Dieser Ansatz wird durch Theorien der situierten Kognition gestützt. Ich bekenne, dass es mehrere Möglichkeiten gibt, situiertes Lernen im Unterricht zu integrieren. Dennoch wollte ich die Verwendung von Simulationen in medizinischen computerbasierten virtuellen Umgebungen („computer-based virtual environments“; CVEs) untersuchen. In der empirischen Forschung muss noch gezeigt werden, wie, wann und warum CVE-Simulationen in der medizinischen Ausbildung wirksam sind und die Aneignung und den Transfer von klinischem Wissen und Kompetenzen im Clinical Reasoning verbessern. Dementsprechend war das erste Hauptziel dieser Dissertation das Problem des Transfers in der Differentialdiagnostik durch die Verwendung eines situierten Lernansatzes zu überwinden. Das zweite Hauptziel bestand darin, zu untersuchen, wie, wann und warum CVE-Simulationen effektiv sind und den Transfer verbessern. Dieser Transfer von angeeignetem Wissen und angeeigneten Fähigkeiten ist unter anderem deshalb wichtig, weil Medizinstudierende während des Studiums nicht mit allen möglichen Situationen konfrontiert werden können, welchen sie später in ihrer beruflichen

Laufbahn als Ärztinnen und Ärzte begegnen werden. In der vorliegenden Dissertation konzentrierte ich mich auf klinisches Wissen und die konzeptionellen Aspekte der Differentialdiagnostik und nicht auf die Durchführung manueller Verfahren. Aufgrund von Corona-Virus-19 Problemen, wurden die meisten Studienaktivitäten dieser Dissertation in Fernarbeit durchgeführt, wobei die Studienteilnehmer*innen die zu erfüllenden Tätigkeiten einzeln von zu Hause aus erledigten.

In der ersten Studie der vorliegenden Dissertation habe ich ein experimentelles Design verwendet, bei welchem ich den Einfluss von zwei verschiedenen Lernaktivitäten in unterschiedlicher Reihenfolge auf die Aneignung und den Transfer von deklarativem und konzeptuellem klinischem Wissen und Kompetenzen im Clinical Reasoning und das Hervorrufen von bestimmten Lernmechanismen untersuchte. Die erste Lernaktivitätssequenz bestand aus Problemlösen vor einer damit zusammenhängenden Instruktion. Die zweite Sequenz bestand aus einer Instruktion, worauf damit zusammenhängendes Problemlösen folgte. Ich entdeckte, dass keine der beiden keine Lernaktivitätssequenzen der anderen überlegen war. Beim einzelnen betrachten der Lernaktivitäten stellte ich aber fest, dass Problemlösen in CVEs und Instruktion gleichermassen effektiv sind bei der Vermittlung von deklarativem und konzeptionellem klinischem Wissen. Andererseits vermittelte Problemlösen in CVE mit formativem Feedback Kompetenz im Clinical Reasoning besser als blosse Instruktion.

In der zweiten, Kohorten basierten Studie untersuchte ich den Einfluss von semesterlangem Problemlösen in CVE, welche Vorlesungen in einem differentialdiagnostischen Einführungskurs voranging im Vergleich zu interaktiven Gruppendiskussionen, welche diesen Vorlesungen vorangingen auf die Leistung in einen sukzessiven Differentialdiagnostikkurs im Medizinstudium. Unter der Verwendung eines experimentellen Designs mit doppeltem Transfer verglich ich die Auswirkungen der beiden

Lehrmethoden bezüglich der Aneignung von klinischem Wissen und Transfer von Clinical Reasoning Kompetenzen sowie deren Einfluss auf die Zufriedenheit und das Selbstvertrauen der Studierenden durch Lernen mit Simulationen. Ich fand heraus, dass beide Unterrichtsmethoden die Aneignung von klinischem Wissen verbesserten, wobei die Methode der Gruppendiskussion effektiver war. Darüber hinaus fand ich, dass interaktive Gruppendiskussionen effektiver sind für den Transfer von Clinical Reasoning Kompetenzen. Dies aber nur wenn das Transferproblem spezifische Konfigurationen aufwies. Weiter fand ich weder einen Unterschied zwischen den Kohorten in der Zufriedenheit und im Selbstvertrauen beim Lernen durch Simulationen noch einen mittelbaren Effekt von verschiedenen Merkmalen des Simulationsdesigns auf die Lernergebnisse. Nichtsdestotrotz war das CVE-Problemlösen vor der folgenden Instruktion gleich effektiv wie Gruppendiskussionen (a) bei der Förderung von Transfer von Clinical Reasoning Kompetenzen, wenn das Transferproblem spezifisch Konfigurationen aufweist und (b) beim Vorbereiten der Studierende für die Aneignung von deklarativem und konzeptuellem klinischem Wissen. Aus praktischer Sicht kann Problemlösen in CVE-Simulationen somit als eine vielversprechende Alternative zu Gruppendiskussionen zur Vorbereitung für eine folgende Instruktion betrachtet werden.

In der dritten Studie erweiterte ich die Forschung zum Ansatz über Problemlösen, welches Instruktion vorausgeht und setzte die Erkenntnisse aus der ersten Studie um. Dies mit dem Ziel, die Aneignung und den Transfer von klinischem Wissen und Kompetenzen im Clinical Reasoning weiter zu verbessern. Ich tat dies, indem ich den Zeitpunkt des gegebenen formativen Feedbacks während der Problemlösungsphase änderte. Das formative Feedback zu den unterschiedlichen Schritten im Differentialdiagnostikprozess wurde entweder unmittelbar nach jedem Schritt, verzögert nach Abschluss des Problemszenarios oder gar nicht gegeben. Auch in dieser Studie habe ich das Hervorrufen von bestimmten Lernmechanismen untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass alle drei untersuchten Zeitpunkte des Feedbacks

geeignet sind um Lernerfolge hervorzurufen. Ausserdem hatte keine Art von Feedback nachteilige Auswirkungen auf das Lernen. Ob und zu welchem Zeitpunkt Feedback optimalerweise gegeben werden sollte, hängt jedoch stark davon ab, ob der Erwerb oder Transfer von deklarativem oder konzeptionellem klinischem Wissen beziehungsweise Clinical Reasoning Kompetenzen das angestrebte Lernergebnis ist.

Mit meiner Dissertation habe ich (a) eine Lücke in der lernwissenschaftlichen Forschung gefüllt bezüglich wie, wann und warum CVE-Simulationen in der medizinischen Ausbildung effektiv sind, (b) untersucht, inwieweit medizinische CVE-Simulationen die Aneignung und den Transfer von klinischem Wissen und Clinical Reasoning Kompetenzen verbessern können, und (c) Prinzipien dafür abgeleitet, wann und wie solche CVE-Patientenszenarien für die Differentialdiagnose am besten in ein medizinisches Curriculum implementiert werden können. Die Ergebnisse meiner ersten Studie haben gezeigt, dass Kompetenzen im Clinical Reasoning besser durch Problemlösen in CVEs vermittelt werden können als durch isolierte Instruktion. In Kombination scheint die Abfolge der beiden Lernaktivitäten eine untergeordnete Rolle zu spielen. Die Ergebnisse meiner zweiten Studie deuten darauf hin, dass Studierende zur Verbesserung des Transfers von klinischem Wissen und Kompetenzen im Clinical Reasoning möglicherweise besser von interaktiven Gruppendiskussionen profitieren, welche einer Instruktion vorausgehen als von individuellem Problemlösen in CVEs vor der Instruktion. Problemlösen in CVE-Simulationen als vorbereitende Aktivität für eine folgende Instruktion scheint jedoch eine plausible Alternative zu sein. Darüber hinaus enthüllte die Studie einige ergänzende Details zur ersten Studie und deutete darauf hin, dass kollaborative Aktivitäten vor einer Instruktion vorlesung für das Lernen effektiver sein könnten als individuelles Problemlösen vor der Instruktion. Dies gilt insbesondere für Kompetenzen im Clinical Reasoning. Die Ergebnisse meiner dritten Studie weisen darauf hin, dass ob und wann Feedback während der

CVE-Problemlösephase implementiert werden sollte, in erster Linie davon abhängt, ob klinisches Wissen oder Kompetenzen im Clinical Reasoning bzw. deren Erwerb oder Transfer das angestrebte Lernergebnis ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Dissertation haben eine hohe ökologische Validität, da alle Studien unter Bedingungen stattfanden, (a) in denen Daten aus realen Lehrumgebungen erhoben wurden oder (b) Studierende aufgrund von Corona-Virus-19 Problemen Lern- und Testaufgaben autonom von zu Hause aus durchführen mussten.