

Krzywa uczenia w kontekście praktyki chirurgicznej The learning curve in the context of surgical practice

Adam Kurek, Robert Król

Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej, Naczyniowej i Transplantacyjnej Śląskiego Uniwersytetu Medycznego (*Department of Vascular, General and Transplantation Surgery, Medical University of Silesia*)

Streszczenie

Termin „krzywa uczenia” nie jest pojęciem nowym w chirurgii. W związku ze stałym rozwojem technik operacyjnych jej znaczenie rośnie. Jest to przydatne narzędzie do oceny postępu w czasie nabywania nowych umiejętności chirurgicznych lub w okresie wprowadzania nowej procedury na oddziale chirurgicznym. Sporządzenie i analiza krzywych uczenia pozwala ponadto na adekwatną kontrolę postępów w trakcie szkolenia chirurgicznego, a także, w razie potrzeby, na jego modyfikację. W artykule opisano idee krzywych uczenia, mierników rezultatów oraz potencjalne korzyści płynące z wyznaczania krzywych dla procedur chirurgicznych.

Słowa kluczowe: krzywa uczenia, szkolenie chirurgiczne, miernik rezultatu

Chirurgia Polska 2016, 18, 1–2, 16–23

Abstract

The term “learning curve” is not a new term in surgery. Due to the constant development of operating techniques its importance is increasing. It is an useful tool to assess progression in the acquisition of new surgical skills or when introducing a new procedure in the surgical ward. Preparation and analysis of learning curves also allows for adequate progress control during surgical training and, if necessary, to modify it. The work tries to bring closer the idea of learning curves, measures of outcomes and the potential benefits of determining the curves for the surgical procedures.

Key words: learning curve, surgical training, measure of outcome

Polish Surgery 2016, 18, 1–2, 16–23

Wstęp

Postęp w naukach medycznych dokonuje się nieustannie. Lekarz, doskonaląc swoje umiejętności, uczy się przez całe życie. Umiejętności chirurgiczne i związane z nimi procedury ewoluują w czasie. Uczenie się i rozwój nowych technik operacyjnych to normalny proces towarzyszący pracy każdego chirurga.

W związku z potrzebą szkolenia adeptów dziedzin zabiegowych w coraz to nowych i bardziej wyrafinowanych technikach operacyjnych potrzebny jest sposób weryfikacji nabywanych przez nich kompetencji chirurgicznych.

Introduction

Advancement in health sciences is continuous. Doctors, while developing their skills, learn throughout their entire life. The surgical skills as well as the procedures associated with them evolve over time. Learning and the development of new surgical techniques is a normal process accompanying the work of every surgeon.

Apart from the need to train new adepts in the surgical specialities in new and more sophisticated surgical techniques, there is also the need to verify the surgical competences acquired by them. It can be assumed that

Można założyć, że im personel bardziej doświadczony w wykonywaniu danego zabiegu, tym efekty końcowe lepsze. Mierzalna zmiana wyników osiąganych w czasie wytycza „krzywą uczenia”.

Termin „krzywa uczenia” nie jest pojęciem nowym. Po raz pierwszy został zaproponowany przez Ebbinghause’a w 1885 roku. Początkowo określenie to było ściśle związane z psychologią, pamięcią i zdobywaniem wiedzy. Badania nad krzywą uczenia kontynuował następnie Theodor P. Wright, inżynier aeronautyki, który wykazał, że wydajność produkcji podzespołów lotniczych wzrasta, a koszty wytwarzania elementów spadają wraz ze wzrostem doświadczenia załogi fabryki [1].

W przypadku analizowania danych przemysłowych zazwyczaj łatwo jest wyznaczyć mierniki wydajności pracowników, oznaczając takie zmienne, jak: czas produkcji danego elementu, jego koszt czy ostateczną jakość.

W przypadku badania wpływu uczenia na efekty procedur zabiegowych zagadnienie to jest trudniejsze do zobiektywizowania [2–6].

Wyznaczanie krzywej uczenia dla procedur chirurgicznych

Ogólnie przyjmuje się, że krzywa uczenia dla procedur medycznych przyjmuje kształt litery „S” (ryc. 1) — jest to graficzna reprezentacja uczenia się jako funkcji czasu. Krzywa uczenia opisuje zdobywanie i doskonalenie nowej umiejętności w czasie powtarzania danej czynności lub też nabywanie wiedzy w czasie zdobywania nowych i przetwarzania już posiadanych informacji. Typową krzywą uczenia można podzielić na 3 zasadnicze fazy (ryc. 1):

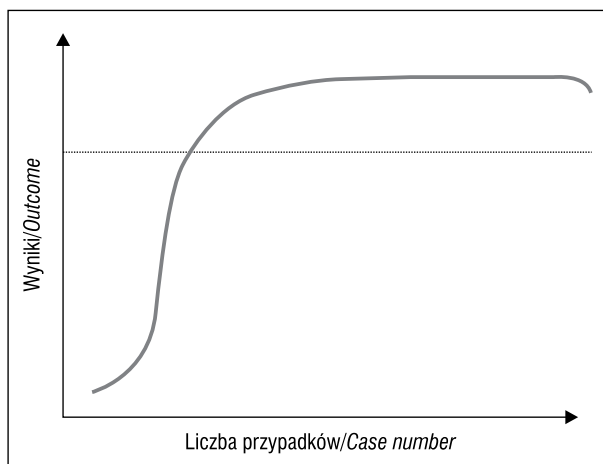
- „punkt startowy”, zależny od indywidualnego, całościowego doświadczenia chirurgicznego i przeszłych doświadczeń chirurgicznych;
- „nachylenie”, które obrazuje zmienianie się parametru definiującego sukces zabiegu w czasie zdobywania doświadczenia; w przypadku krzywej uczenia jej nachylenie jest odwrotnie proporcjonalne do trudności procedury — im krzywa uczenia bardziej stroma, tym procedura relatywnie łatwiejsza;
- „plateau” — punktu, po przekroczeniu którego nie obserwuje się już znaczących zmian parametru definiującego sukces — w tym miejscu uznaje się, że chirurg opanował procedurę [7, 8].

W rzeczywistości procedury chirurgiczne zazwyczaj mają stopniowe, mniej lub bardziej pochyłe krzywe uczenia, z małymi skokami umiejętności wynikającymi z każdego zoperowanego przypadku [2, 4–7, 9, 10].

Mierniki rezultatów

Przy kreśleniu krzywej uczenia jednym z najważniejszych zadań jest wyznaczenie właściwych mierników rezultatów. Dla każdej procedury chirurgicznej powinny być one dobrane starannie i indywidualnie. Mierniki takie można podzielić na 4 grupy [7]:

- dane mierzone na sali operacyjnej, na przykład czas zabiegu;



Rycina 1. Typowa krzywa uczenia — graficzna reprezentacja uczenia się jako funkcji czasu

Figure 1. A standard learning curve — graphical representation of learning as a function of the time.

the more experienced the personnel is (in performing of the given surgery), the better the final results are. A measurable change in the results achieved over time determines the ‘learning curve’.

The notion of the ‘learning curve’ is not new. It has been introduced first by Ebbinghause in 1885. Initially, the notion was closely associated with psychology, memory and knowledge acquisition. Studies on this subject were continued by Theodor P. Wright, an aeronautical engineer, who revealed that the efficiency of the production of aeronautical components increases and the costs decrease with the increased number of the factory employees [1].

In case of the analysis of industry data, it is usually easier to determine the employees’ efficiency measures by defining variables such as the production time of the given element, its cost or final quality.

In case of the research on the influence of learning on the effects of the surgical procedures, the issue is harder to objectify [2–6].

The determination of the learning curve for surgical procedures

It is generally assumed, that in terms of the medical procedures, the learning curve takes the shape of the letter ‘S’ (Figure 1) — it is a graphical representation of learning as a function of the time.

The learning curve describes the acquisition and improvement of a new skill over time due to its repetition or the acquisition of new knowledge when acquiring new and processing the already possessed information.

A standard learning curve can be divided into 3 basic phases (Figure 1):

- the ‘starting point’ depended on the individual, total surgical experience as well as the past surgical experiences;
- the ‘slope’ which illustrates the change of the parameter defining the surgery success when acquiring

Tabela 1. Najczęściej używane mierniki rezultatów (za [7])
**Table 1. Most commonly used result measures (as per I. Har-
rysson) [2]**

Mierniki rezultatów / <i>Result measures</i>
Mierzone na sali operacyjnej / <i>Measured in the operating theatre</i>
Czas zabiegu / <i>Procedure time</i> Utrata krwi / <i>Blood loss</i> Powikłania śródzabiegowe / <i>Intra-procedural complications</i> Konwersje / <i>Conversions</i> Liczba pobranych węzłów chłonnych / <i>Number of lymph nodes removed</i> Transfuzje / <i>Transfusions</i>
Mierzone po zabiegu operacyjnym / <i>Measured after the surgery</i>
Nawrót choroby zasadniczej / <i>Relapse of the underlying disease</i> Infekcje rany / <i>Wound infections</i> Czas utrzymania drenów / <i>Drain removal time</i> Powikłania pooperacyjne / <i>Post-surgical complications</i> Czas hospitalizacji / <i>Hospitalization time</i> Śmiertelność / <i>Death rate</i> Reoperacje / <i>Reoperations</i> Czystość marginesów operacyjnych (operacje onkologiczne) / <i>Status of the surgical margins (oncological surgery)</i> Ponowne hospitalizacje w związku z operacją / <i>Rehospitalisations associated with the surgery</i>
Związane z techniką operacji / <i>Associated with the surgical technique</i>
Ocena umiejętności technicznych na podstawie opracowanej wcześniej skali / <i>Assessment of the technical skills on the basis of a scale developed earlier</i> Pozycja instrumentu/reki / <i>Position of the instrument/hand</i> Ruch instrumentu/reki / <i>Movement of the instrument/hand</i> Siła przy obsłudze narzędzi chirurgicznych / <i>Strength in the use of surgical instruments</i> Błędy techniczne przy obsłudze narzędzi chirurgicznych / <i>Technical mistakes in the handling of the surgical instruments</i>
Zorientowane na pacjenta / <i>Associated with the patient</i>
Jakość życia po zabiegu / <i>Quality of life after the procedure</i> Koszt zabiegu / <i>Cost of the procedure</i> Zużycie środków przeciwbólowych / <i>Consumption of painkillers</i> Czas powrotu do pracy / <i>Time needed to return to work</i> Czas do włączenia żywienia doustnego / <i>Time needed to return to oral feeding</i>

- dane mierzone po zabiegu operacyjnym, na przykład długość hospitalizacji;
- dane związane z techniką operacyjną, na przykład ocena pozycjonowania instrumentów zabiegowych;
- dane zorientowane na pacjenta, na przykład ocena jakości życia po zabiegu operacyjnym.

Najczęściej używane mierniki rezultatów opisano w tabeli 1. Tylko wielowymiarowa analiza, uwzględniająca wszystkie istotne zmienne, pozwala wystarczająco dokładnie odwzorować krzywą uczenia dla danej procedury zabiegowej. Zazwyczaj najbardziej precyzyjne wyniki uzyskuje się poprzez badanie elementów z kilku grup mierników rezultatów. Zwykle do wyznaczenia obiektywnej krzywej uczenia stosuje się 4 mierniki lub więcej [2, 7, 8, 11].

W tabeli 2 zestawiono przykładowe mierniki rezultatów, na podstawie których obliczono punkt osiągnięcia kompetencji chirurgicznych (*plateau*) dla danych procedur.

Co wynika z krzywej uczenia?

Krzywą uczenia bada się najczęściej w sytuacji:

- wdrażania nowej procedury przez oddział uprzednio jej niewykonyjący;
- nauki nowej umiejętności przez niedoświadczonego chirurga w jednostce posiadającej doświadczenie w danej procedurze.

experience. In terms of the learning curve, its slope is inversely proportional to the difficulty of the procedure — the more steep the curve, the relatively easier the procedure;

- the “plateau” — a point after which there are no significant changes in the parameter that defines the success — at this point it is assumed that the surgeon has mastered the procedure [7, 8].

In reality, surgical procedures are associated with gradual learning curves, which are more or less inclined, with small skill spikes resulting from each of the performed procedures [2, 4–7, 9, 10].

Result measures

When creating the learning curve, one of the most important tasks is the determination of the proper result measures. They should be both individual and carefully selected for each surgical procedure. The measures can be divided into 4 groups [7]:

- data measured in the operating theatre, e.g. surgery time;
- data measured after the surgical procedure, e.g. hospitalization time;
- data associated with the surgical technique, e.g. assessment of the surgical instruments positioning;
- data associated with the patient, e.g. the assessment of the life quality following the surgical procedure.

The most commonly used result measures are available in Table 1. Only a multidimensional analysis including all of the significant variables allows the learning curve to be precisely depicted for a given surgical procedure. The most precise results are usually obtained through the study of elements from several groups of result measures. Typically, the creation of the learning curve takes place on the basis of ≥ 4 measures [2, 7, 8, 11].

Table 2 contains an exemplary results measures on the basis of which the plateau point (point of achievement of surgical competence) for given procedures was calculated.

The results from the learning curve

The learning curve is studied most commonly in situations such as:

- the implementation of a new procedure by a hospital ward which has not performed it beforehand;
- a new skill acquisition by an inexperienced surgeon based on an experienced unit familiar with the given procedure.

In the first case, the comparison of the own results with the results of other, more experienced centres, allows the determination of the centre’s location on the implemented procedure’s learning curve.

There are many studies proving that inter-centre comparison is possible and the information resulting from it is very helpful when implementing a new procedure [4–6, 12].

Such comparisons allow the calculation of the time required to fully master the given surgical procedure as

Tabela 2. Mierniki rezultatów i wyznaczone na ich podstawie punkty „plateau” dla danych procedur
Table 2. Result measures and ‘plateau’ points determined on their basis for the given procedures

Procedura / Procedure	Mierniki rezultatów / Result measures	Czas/liczba zabiegów do plateau / Time/number of procedures before plateau	Źródło / Source
Wazektomia / rewazektomia / Vasectomy / revasectomy	Częstotliwość ruchów ręki, droga pokonana przez rękę (HMA) / HMA (hand movement frequency) — frequency of the hand movements, the distance covered by the hand	> 17 procedur / > 17 procedures	Grober i wsp. [2] / Grober et al. [2]
Rozległe laparoskopowe resekcje wątroby / Extensive laparoscopic liver resections	Czas zabiegu, utrata krwi, czas hospitalizacji, liczba konwersji / Procedure time, blood loss, hospitalization time, number of conversions	45–75 procedur / 45–75 procedures	Nomi i wsp. [22] / Naomi et al. [22]
Gastrektomia D2 / D2 Gastrectomy	Śmiertelność, powikłania, liczba pobranych węzłów chłonnych / Death rate, complications, number of lymph nodes removed	18–24 miesiące / 18–24 months 15–25 procedur / 15–25 procedures	Parikh i wsp. [11] / Parikh et al. [11]
Laparoskopowe resekcje wątroby / Laparoscopic liver resections Lewoboczna resekcja wątroby / Left-sided hepatic resection Nieanatomiczna resekcja wątroby / Non-anatomic liver resection Laparoskopowa segmentektomia / Laparoscopic segmentectomy	Czas zabiegu, utrata krwi, komplikacje, czas hospitalizacji, liczba konwersji / Procedure time, blood loss, hospitalization time, number of conversions	~43 procedury / ~43 procedures ~35 procedur / ~35 procedures ~28 procedur / ~28 procedures	Cai X i wsp. [13] / Cai et al. [13]
Laparoskopowa hemikolektomia lewostronna / Left laparoscopic hemicolectomy	Czas zabiegu, liczba konwersji, komplikacje / Procedure time, number of conversions, complications	30 procedur / 30 procedures	Yamamoto i wsp. [23] / Yamamoto et al. [23]
Operacje pierwotnie zaawansowanych lub nawrotowych raków odbytnicy / Operations of the initially advanced or recurring rectal cancer cases	Śmiertelność / Death rate	14 procedur / 14 procedures	Georgiou i wsp. [9] / Georgiou et al. [9]
Laparoskopowa cholecystektomia / Laparoscopic cholecystectomy	Uszkodzenia dróg żółciowych / Bile duct damage	3 lata / 3 years	Richardson i wsp. [24] / Richardson et al. [24]

HMA (hand movement frequency)

W pierwszym przypadku, poprzez porównanie wyników własnych z wynikami innych, bardziej doświadczonych ośrodków, można wnioskować o punkcie na krzywej uczenia nowo wprowadzanej procedury. Istnieje wiele opracowań wskazujących, że porównanie międzyośrodkowe jest możliwe, a wynikające z porównania informacje są bardzo pomocne przy wdrażaniu nowej procedury [4–6, 12]. Pozwalają one na wyliczenie czasu potrzebnego do pełnego opanowania danego zabiegu, na kalkulację korzyści wynikających z wdrożenia nowej procedury, czy też na ewentualną korektę własnej krzywej uczenia.

W przypadku wdrażania procedury autorskiej, gdy nie ma możliwości odniesienia się do doświadczeń innych, dąży się do stabilizacji wyników (wyznaczonych mierników rezultatów) i na tej podstawie wyznacza się punkt *plateau*.

W przypadku przyswajania nowej techniki operacyjnej przez niedoświadczonego chirurga krzywą uczenia można wyznaczać w odniesieniu do wartości uzyskiwanych przez doświadczonych współpracowników. Grober i wsp. w pracy badającej częstotliwość ruchu ręki i pokonywany dystans w czasie zabiegu urologicznej wazektomii i rewazektomii [2] zwrócili uwagę, że wyniki doświadczonego chirurga pozostają relatywnie stałe. W związku z tym można wyznaczyć punkt osiągnięcia *plateau* na krzywej uczenia dla lekarza uczącego się nowej procedury na podstawie bezpośredniego porównania wyników z doświadczonym chirurgiem.

Co wpływa na krzywą uczenia?

Istnieje wiele elementów mających istotny wpływ na przebieg krzywej uczenia. Do podstawowych parametrów zalicza się indywidualne, wcześniejsze doświadczenie chirurga, którego krzywą uczenia kreślimy. Ogólnie, im więk-

well as the calculation of the benefits resulting from the procedure’s implementation or the possible correction of one’s own learning curve.

In case of the implementation of a proprietary process, where the comparison to other results is not possible, one should strive to stabilize the results (the established results measures) and on that basis determine the plateau point.

When it comes to the acquisition of a new surgical technique by an inexperienced surgeon, the learning curve can be established in reference to the results achieved by the experienced co-workers. In their study on the hand movement frequency and the distance covered during the urological vasectomy and revasectomy [2], Grober et al. point out that the results obtained by an experienced surgeon are relatively constant. Therefore the learning curve’s plateau point for a learning surgeon can be established on the basis of the direct comparison of his or her results with the results of an experienced colleague.

What influences the learning curve?

There are many elements that have significant influence on the course of the learning curve.

The fundamental parameters include the individual, past experience of the surgeon for whom the curve is created. Typically the more experience, the higher the ‘starting point’ on the learning curve is located. There are numerous reports indicating the correlation of the initial experience and the ease of mastering a new, related surgical technique [2, 9, 10, 13–16].

The authors point out that the experience gained during open liver resection is largely transferable to laparoscopy procedures [13] and the overall experience in

sza praktyka, tym „punkt startowy” na krzywej uczenia znajduje się wyżej. Istnieje wiele doniesień pokazujących korelację między doświadczeniem wstępnym, a łatwością opanowania nowej, pokrewnej techniki operacyjnej [2, 9, 10, 13–16].

Autorzy zwrócili uwagę, że doświadczenie zdobyte w czasie otwartych resekcji wątroby w dużym stopniu można przenieść na zabiegi laparoskopowe [13], a ogólne doświadczenie w chirurgii kolorektalnej na wyniki zabiegów usunięcia pierwotnych zaawansowanych raków odbytnicy [9].

Wyniki niektórych badań wskazują wręcz na to, że wszechstronne doświadczenie ogólne chirurga może doprowadzić do sytuacji, w której w czasie uczenia się nowej procedury krzywa uczenia będzie bardzo krótka lub nie wystąpi wcale [10]!

Doświadczenie wstępne można także podnosić poprzez ćwiczenia na tak zwanych symulatorach. Osoby, które przeszły szkolenia na symulatorach, na przykład laparoskopowych, wykazują znamienne większe umiejętności na sali operacyjnej [14, 15].

Innym sposobem modyfikacji przebiegu krzywej uczenia jest dostęp do wideo analizy wykonanego uprzednio zabiegu operacyjnego. Retrospektywna analiza z omówieniem błędów, w towarzystwie doświadczonego chirurga, może skutkować szybszym progresem umiejętności (wzrost nachylenia krzywej) [14, 15].

Odpowiedni dobór pacjentów w czasie zdobywania umiejętności jest także bardzo ważnym czynnikiem. W początkowym okresie uczenia przypadki powinny być, w miarę możliwości, mniej skomplikowane (pacjenci młodszy, w lepszym stanie ogólnym, z mniej zaawansowanymi zmianami chorobowymi). Dzięki temu chirurg, zdobywając stopniowo wiedzę i doświadczenie zawodowe, będąc na początkowych etapach „krzywej uczenia”, nie będzie stwarzał nadmiernego zagrożenia dla pacjenta [17, 18].

Kolejną ważną zmienną, wpływającą na przebieg krzywej uczenia, jest samo zdobywanie doświadczenia. Wraz z rosnącą praktyką, a w konsekwencji poprawą osiągniętych wyników, chirurg staje się pewniejszy i operuje coraz trudniejsze wyjściowo przypadki. Prakash stwierdził, że wraz ze wzrostem doświadczenia chirurga w laparoskopowych zabiegach kolorektalnych są rozszerzane kryteria kwalifikacji pacjentów. Operacje stają się z tego powodu coraz bardziej wymagające technicznie, co może rzutować negatywnie na osiągnięte rezultaty [17].

W wyniku rozszerzania kryteriów kwalifikacji lub też z powodu przeszacowywania własnych umiejętności przez chirurga na krzywej uczenia obserwuje się przejściowe pogorszenie wyników (ryc. 2). Po okresie przejściowego spadku, na skutek dalszego zdobywania wprawy i doświadczenia w wykonywaniu danej procedury lub też pod wpływem powtórnego zawężenia kryteriów kwalifikacji, krzywa rośnie i ponownie się stabilizuje.

Podobne załamania przebiegu można zaobserwować w przypadkach prób modyfikacji sposobów wykonywania zabiegów (ryc. 3). Po przejściowym okresie spadku wyników na krzywej uczenia, w miarę doskonalenia się w nowej technice zabiegu, następuje etap narastania efektów, a nowe *plateau* może się ustabilizować powyżej wyjściowego.

colorectal surgery is associated with the results of procedures removing the initial advanced rectal cancers [9].

Some studies indicate even, that the surgeon's overall comprehensive experience may lead to a situation where the learning curve associated with a new procedure will be very short or even non-existent [10]!

Initial experience can also be gained through exercises on the so called simulators. Individuals who completed their trainings on the simulators such as the laparoscopy simulator demonstrate significantly higher operating theatre skills [14, 15].

Another method of the modification of the learning curve is associated with the access to the video analysis of the past surgical procedure. Retrospective analysis accompanied by the review of the mistakes by an experienced surgeon may result in a faster skill progress (an increase of the curve's slope) [14, 15].

A proper selection of patients during the skill acquisition period is also an important factor. During the initial phases of learning, the cases should be, if possible, less complicated (younger patients in a better overall state and with less advanced lesions). This will allow the surgeon to gradually acquire knowledge and professional experience in the initial stages of the 'learning curve' without being an excessive threat to the patient [17, 18].

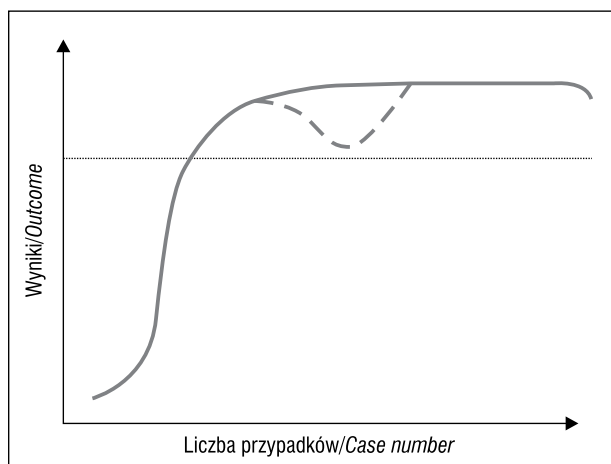
Gaining experience is also an important variable which influences the learning curve. With the increase in practice and in consequence the improvement of the achieved results, the surgeon becomes more confident and operates in cases which are initially more difficult. Prakash noted that with the increase of the surgeon's experience in the colorectal laparoscopy procedures, the qualification criteria of the patients undergo extension. Due to this fact, the operations become technically more demanding which may negatively impact the achieved results [17].

As a result of the extension of the qualification criteria or due to the overestimation of the surgeon's skills, one can observe a temporary degradation of the results on the learning curve (Figure 2). After the period of the temporary decrease, and due to further training in the given procedure and experience gaining or due to a repeated restriction of the qualification criteria, the curve raises and stabilizes.

Similar learning curve course deflections can be observed in case of the modification attempts of the performed procedures (Figure 3). The initial degradation of the results on the learning curve is followed by an improvement of the effects, due to the new technique being perfected, and the new plateau point may stabilize above the previous one.

Many authors point out that one of the key elements influencing the course of the learning curve and its stabilization is the number of procedures performed annually both by the surgeon and the hospital which he or she works for [5, 12, 18].

Despite the acquisition of the competences required to perform a certain procedure (plateau) it is important that the surgeon (and indirectly also the hospital) performed a given number of such procedures annually.



Rycina 2. Krzywa uczenia — przejściowe pogorszenie wyników spowodowane rozszerzeniem kryteriów kwalifikacji lub też z powodu przeszacowywania własnych umiejętności przez chirurga

Figure 2. Learning curve — a temporary degradation of the results as a result of the extension of the qualification criteria or due to the overestimation of the surgeon's skills

Wielu autorów zwraca uwagę, że jednym z kluczowych elementów wpływających na przebieg krzywej uczenia i jej stabilizację jest roczna liczba procedur wykonywanych zarówno przez chirurga, jak i szpital, w którym pracuje [5, 12, 18].

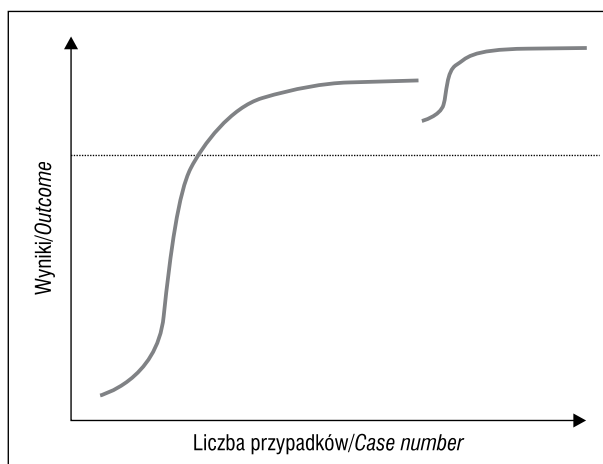
Pomimo nabycia kompetencji odpowiednich do wykonywania danej procedury (*plateau*), bardzo ważne jest, aby chirurg (a także pośrednio szpital) wykonywał daną liczbę odpowiedniego typu zabiegów rocznie. W przypadku pankreatoduodenektomii liczba ta została wyznaczona przez Fishera na co najmniej 11 rocznie, a przez Camerona na 15 rocznie [5]. Podobnie wnioskują Brickmeyer, podając, że śmiertelność w szpitalach wykonujących małą liczbę pankreatoduodenektomii rocznie potrafi być nawet 3–4 większa niż w szpitalach specjalizujących się w tej procedurze [12].

Pecorelli udowodnił że doświadczenie chirurga (liczba wykonanych operacji) wpływa na ryzyko pojawienia się przetoki trzustkowej po operacji pankreatoduodenektomii, natomiast doświadczenie szpitalne (liczba tych samych operacji w danym szpitalu) może wpłynąć na wczesne wykrycie i leczenie tego powikłania [18].

Istnieją również nieliczne prace próbujące wyjaśnić wpływ umiejętności i doświadczenia personelu pozachirurgicznego [19–21] (anestezjologów, instrumentariuszek, pielęgniarek) na ostateczny wynik zabiegu operacyjnego. Można założyć, że na przebieg krzywej uczenia nowej procedury ma wpływ cały zespół operacyjny, ale do potwierdzenia tej tezy potrzebne są dalsze badania.

Podsumowanie

1. Krzywa uczenia jest przydatnym narzędziem do oceny progressu nabywania nowych umiejętności chirurgicz-



Rycina 3. Krzywa uczenia w przypadkach prób modyfikacji sposobów wykonywania zabiegów. Po przejściowym okresie spadku wyników na krzywej uczenia, w miarę doskonalenia się w nowej technice, następuje etap narastania efektów

Figure 3. Learning curve in case of the modification attempts of the performed procedures. The initial degradation of the results on the learning curve is followed by an improvement of the effects

In case of pancreaticoduodenectomy, the number has been determined by Fisher as at least 11 per year, and by Cameron as 15 per year [5]. Similar conclusions have been made by Brickmeyer, noting that the death rate in hospitals which do not perform many pancreaticoduodenectomies annually, may be even 3–4 times higher than in hospitals specializing in this procedure [12].

Pecorelli proved that the surgeon's experience (number of performed operations) influences the risk of pancreatic fistula occurrence after the pancreaticoduodenectomy surgery. What is more, the hospital experience (number of given operations) may influence the early detection and treatment of such a complication [18].

There are also few works which strive to clarify the influence of the skills and experience of the non-surgical personnel [19–21] (anaesthesiologists, operating-theatre attendants, nurses) on the final result of the surgery. One may assume that the course of the learning curve of the new procedure is influenced by the whole surgical team, however, further research is required to prove such a thesis.

Conclusions

1. The learning curve is a useful tool assessing the progress of the acquisition of new surgical skills or the implementation of a new procedure in a surgical unit.
2. Individually selected results measures play a key role when it comes to the determination of the curve.
3. A properly created learning curve, related to medical procedures, should permit:
 - a possibility to compare the newly introduced technique with the one performed previously;

nych lub w czasie wprowadzania nowej procedury na oddziale zabiegowym.

2. Indywidualnie dobrane mierniki rezultatów pełnią kluczową rolę przy wyznaczaniu krzywej.
3. Prawidłowo wykreślona krzywa uczenia w przypadku procedur medycznych powinna pozwalać na:
 - możliwość porównania nowo wprowadzonej techniki zabiegowej z uprzednio wykonywaną;
 - korektę dotychczas prowadzonego modelu nauczania danej techniki;
 - porównanie „krzywych uczenia” między zarówno instytucjami, jak i poszczególnymi chirurgami;
 - wyznaczenie punktu *plateau*, w którym daną procedurę można uznać za opanowaną;
 - ocenę wpływu treningu wstępnego, z użyciem symulatorów, na przebieg krzywej uczenia [7].

Ogrom zmiennych rzutujących bezpośrednio lub pośrednio na wyniki zabiegu sprawia, że do odczytywania krzywych powinno się podchodzić krytycznie.

Przebieg krzywej uczenia dla danej procedury kształtuje się w sposób specyficzny dla każdego chirurga lub zespołu zabiegowego. Punkt osiągnięcia *plateau* jest wypadkową całościowego doświadczenia oraz indywidualnego talentu chirurgicznego. Nie liczba wykonanych zabiegów, a ich jakość, wyrażona w formie uzyskanych wyników, pozwala na porównania z innymi ośrodkami czy też chirurgami. Ponadto sporządzanie i analiza krzywych uczenia umożliwiają adekwatną kontrolę postępów w trakcie szkolenia chirurgicznego, a także, w razie potrzeby, na jego modyfikację.

Piśmiennictwo/References

1. Wright TP. Factors Affecting the Cost of Airplanes. *Journal of the Aeronautical Sciences*. 1936; 3(4): 122–128, doi: [10.2514/8.155](https://doi.org/10.2514/8.155).
2. Grober ED, Roberts M, Shin EJ, et al. Intraoperative assessment of technical skills on live patients using economy of hand motion: establishing learning curves of surgical competence. *Am J Surg*. 2010; 199(1): 81–85, doi: [10.1016/j.amjsurg.2009.07.033](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2009.07.033), indexed in Pubmed: [20103070](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20103070/).
3. Dagher I, O'Rourke N, Geller DA, et al. Laparoscopic major hepatectomy: an evolution in standard of care. *Ann Surg*. 2009; 250(5): 856–860, doi: [10.1097/SLA.0b013e3181bc4f46](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3181bc4f46), indexed in Pubmed: [19806057](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19806057/).
4. Coe TM, Fong ZV, Wilson SE, et al. Outcomes Improvement Is Not Continuous Along the Learning Curve for Pancreaticoduodenectomy at the Hospital Level. *J Gastrointest Surg*. 2015; 19(12): 2132–2137, doi: [10.1007/s11605-015-2967-0](https://doi.org/10.1007/s11605-015-2967-0), indexed in Pubmed: [26438484](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26438484/).
5. Fisher WE, Hodges SE, Wu MF, et al. Assessment of the learning curve for pancreaticoduodenectomy. *Am J Surg*. 2012; 203(6): 684–690, doi: [10.1016/j.amjsurg.2011.05.006](https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2011.05.006), indexed in Pubmed: [22079032](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22079032/).
6. Cameron JL, Riall TS, Coleman J, et al. One thousand consecutive pancreaticoduodenectomies. *Ann Surg*. 2006; 244(1): 10–15, doi: [10.1097/01.sla.0000217673.04165.ea](https://doi.org/10.1097/01.sla.0000217673.04165.ea), indexed in Pubmed: [16794383](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16794383/).
7. Harrysson IJ, Cook J, Sirimanna P, et al. Systematic review of learning curves for minimally invasive abdominal surgery: a review of the methodology of data collection, depiction of outcomes, and statistical analysis. *Ann Surg*. 2014; 260(1): 37–45, doi: [10.1097/SLA.0000000000000596](https://doi.org/10.1097/SLA.0000000000000596), indexed in Pubmed: [24670849](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24670849/).
8. Hopper AN, Jamison MH, Lewis WG. Learning curves in surgical practice. *Postgrad Med J*. 2007; 83(986): 777–779, doi: [10.1136/pgmj.2007.057190](https://doi.org/10.1136/pgmj.2007.057190), indexed in Pubmed: [18057179](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18057179/).
9. Georgiou PA, Bhangu A, Brown G, et al. Learning curve for the management of recurrent and locally advanced primary rectal cancer: a single team's experience. *Colorectal Dis*. 2015; 17(1): 57–65, doi: [10.1111/codi.12772](https://doi.org/10.1111/codi.12772), indexed in Pubmed: [25204543](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25204543/).
10. Wolff T, Schumacher M, Dell-Kuster S, et al. Surgical complications in kidney transplantation: no evidence for a learning curve. *J Surg Educ*. 2014; 71(5): 748–755, doi: [10.1016/j.jsurg.2014.03.007](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2014.03.007), indexed in Pubmed: [24913427](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24913427/).
11. Parikh D, Johnson M, Chagla L, et al. D2 gastrectomy: lessons from a prospective audit of the learning curve. *Br J Surg*. 1996; 83(11): 1595–1599, indexed in Pubmed: [9014684](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/9014684/).
12. Birkmeyer JD, Finlayson SR, Tosteson AN, et al. Effect of hospital volume on in-hospital mortality with pancreaticoduodenectomy. *Surgery*. 1999; 125(3): 250–256, indexed in Pubmed: [10076608](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/10076608/).
13. Cai X, Li Z, Zhang Y, et al. Laparoscopic liver resection and the learning curve: a 14-year, single-center experience. *Surg Endosc*. 2014; 28(4): 1334–1341, doi: [10.1007/s00464-013-3333-5](https://doi.org/10.1007/s00464-013-3333-5), indexed in Pubmed: [24399518](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24399518/).
14. Bansal VK, Raveendran R, Misra MC, et al. A prospective randomized controlled blinded study to evaluate the effect of short-term focused training program in laparoscopy on operating room performance of surgery residents (CTRL/2012/11/003113). *J Surg Educ*. 2014; 71(1): 52–60, doi: [10.1016/j.jsurg.2013.06.012](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2013.06.012), indexed in Pubmed: [24411424](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24411424/).
15. Palter VN, Orzech N, Reznick RK, et al. Validation of a structured training and assessment curriculum for technical skill acquisition in minimally invasive surgery: a randomized controlled trial. *Ann Surg*. 2013; 257(2): 224–230, doi: [10.1097/SLA.0b013e31827051cd](https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e31827051cd), indexed in Pubmed: [23013806](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23013806/).
16. Kluger MD, Vigano L, Barroso R, et al. The learning curve in laparoscopic major liver resection. *J Hepatobiliary Pancreat Sci*. 2013; 20(2): 131–136, doi: [10.1007/s00534-012-0571-1](https://doi.org/10.1007/s00534-012-0571-1), indexed in Pubmed: [23064988](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23064988/).
17. Prakash K, Kamalesh NP, Pramila K, et al. Does case selection and outcome following laparoscopic colorectal resection change

- after initial learning curve? Analysis of 235 consecutive elective laparoscopic colorectal resections. *J Minim Access Surg.* 2013; 9(3): 99–103, doi: [10.4103/0972-9941.115366](https://doi.org/10.4103/0972-9941.115366), indexed in Pubmed: [24019686](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24019686/).
18. Pecorelli N, Balzano G, Capretti G, et al. Effect of surgeon volume on outcome following pancreaticoduodenectomy in a high-volume hospital. *J Gastrointest Surg.* 2012; 16(3): 518–523, doi: [10.1007/s11605-011-1777-2](https://doi.org/10.1007/s11605-011-1777-2), indexed in Pubmed: [22083531](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/22083531/).
19. Hofer I, Spivack J, Yaport M, et al. Association between anesthesiologist experience and mortality after orthotopic liver transplantation. *Liver Transpl.* 2015; 21(1): 89–95, doi: [10.1002/lt.24014](https://doi.org/10.1002/lt.24014), indexed in Pubmed: [25283640](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25283640/).
20. Weller J, Cumin D, Torrie J, et al. Multidisciplinary operating room simulation-based team training to reduce treatment errors: a feasibility study in New Zealand hospitals. *N Z Med J.* 2015; 128(1418): 40–51, indexed in Pubmed: [26367358](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26367358/).
21. Patrity A, Marano L, Casciola L. MILS in a general surgery unit: learning curve, indications, and limitations. *Updates Surg.* 2015; 67(2): 207–213, doi: [10.1007/s13304-015-0317-0](https://doi.org/10.1007/s13304-015-0317-0), indexed in Pubmed: [26164140](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/26164140/).
22. Nomi T, Fuks D, Kawaguchi Y, et al. Learning curve for laparoscopic major hepatectomy. *Br J Surg.* 2015; 102(7): 796–804, doi: [10.1002/bjs.9798](https://doi.org/10.1002/bjs.9798), indexed in Pubmed: [25873161](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25873161/).
23. Yamamoto M, Okuda J, Tanaka K, et al. Evaluating the learning curve associated with laparoscopic left hemicolectomy for colon cancer. *Am Surg.* 2013; 79(4): 366–371, indexed in Pubmed: [23574845](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23574845/).
24. Richardson MC, Bell G, Fullarton GM. Incidence and nature of bile duct injuries following laparoscopic cholecystectomy: an audit of 5913 cases. *West of Scotland Laparoscopic Cholecystectomy Audit Group. Br J Surg.* 1996; 83(10): 1356–1360, indexed in Pubmed: [8944450](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/8944450/).

Adres do korespondencji (Address for correspondence):

dr hab. n. med. Robert Król
Katedra i Klinika Chirurgii Ogólnej, Naczyniowej i Transplantacyjnej
Śląskiego Uniwersytetu Medycznego
ul. Francuska 20/24, 40–027 Katowice
e-mail: robertk@hot.pl

Praca wpłynęła do Redakcji: 17.11.2016 r.