

PŮVODNÍ PRÁCE

Test přístrojů používaných v České republice k monitorování nervosvalového přenosu v anesteziologii

Adamus M.¹, Adamus P.², Bělohlávek R.³, Ludma M.³, Hropko P.³

¹Klinika anesteziologie a resuscitace, Fakultní nemocnice a Lékařská fakulta Univerzity Palackého, Olomouc

²Rapid System, s. r. o., Olomouc

³Katedra informatiky, Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Olomouc

Souhrn

Cíl studie: Zhodnocení kvality přístrojů, používaných v České republice k monitorování nervosvalového přenosu během anestezie. Vyhodnocení, zda stimulatory pracují jako generátory konstantního proudu.

Typ studie: Laboratorní, prospektivní, kontrolovaná studie.

Název a sídlo pracoviště: Klinika anesteziologie a resuscitace, Fakultní nemocnice a Lékařská fakulta Univerzity Palackého v Olomouci.

Materiál a metoda: Testovali jsme šest v České republice komerčně dostupných periferních nervových stimulatorů. Každý stimulator jsme nechali pracovat do zátěže mezi 50 a 10000 ohmy (režim jednotlivého impulzu, proud od 10 do 60 mA). Na základě Ohmova zákona a osciloskopicky změřeného napětí na zátěži jsme určili skutečnou intenzitu proudu. Stanovili jsme tak zatěžovací charakteristiku všech stimulatorů. Osciloskopicky jsme zachytili tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu. V každé měřené kategorii jsme seřadili přístroje od nejlepšího po nejhorší pro souhrnné srovnání.

Výsledky: Nejpřesnější stimulační proud poskytovaly přístroje TOF-Guard® (Biometer) a TOF-Watch® SX (Organon). Přesnost všech stimulatorů (kromě Innervatoru NS252®, Fisher-Paykel) klesala s rostoucím stimulačním proudem. Nejqualitnější tvar stimulační křivky dodával Multistim LA (Pajunk), jeden testovaný přístroj (AS/3™, Datex-Ohmeda) umožňuje jak akcelerometrické, tak elektromyografické vyhodnocení svalové odpovědi.

Závěr: Všechny testované přístroje byly výrobcem deklarovány jako generátory konstantního proudu, podle výsledků testu však toto kritérium některé přístroje nesplňovaly (ParaGraph®, Vital Signs).

Klíčová slova: nervosvalový přenos – periferní nervový stimulator – monitorování – stimulační vzorec

Abstract

Assessment of performance of NMT stimulators used during anaesthesia in the Czech Republic

Objective: To assess the performance of NMT stimulators used during anaesthesia in the Czech Republic. To test the ability of the stimulators to work as “constant-current generators”.

Design: Laboratory prospective controlled study

Setting: Department of Anaesthesiology and Intensive Care, University Hospital and Palacky University, Olomouc.

Materials and Methods: Six commercially available peripheral nerve stimulators were studied in laboratory settings. Each stimulator (single twitch mode, stimulating current 10, 20, 30, 40, 50 and 60 mA, respectively) was set to work at different loading resistance from 50 to 10000 Ohm. Based on the voltage measured on the load and Ohm's law, the actual intensity of the current was determined. The loading characteristics were specified. The morphology of the stimulating pulse was recorded from the oscillographic screen. The stimulators were ranked from the best to the worst in each category.

Results: The TOF-Guard® (Biometer) and TOF-Watch® SX (Organon) were the most accurate stimulators in terms of the stimulating current. All stimulators except the Innervator NS252® (Fisher-Paykel) were less precise at higher currents (60 mA) than at lower stimulation intensities (10 mA). Multistim LA (Pajunk) showed the best impulse morphology; one of the stimulators (AS/3™, Datex-Ohmeda) offered both accelerometer and electromyographic evaluation of muscle response.

Conclusion: The manufacturers declare all the tested stimulators to be “constant-current generators”. Based on the test results, some of the stimulators did not meet this attribute because their output was load-dependent (ParaGraph®, Vital Signs).

Key words: neuromuscular transmission – peripheral nerve stimulator – monitoring – stimulation pattern

Anest. intenziv. Med., 17, 2006, č. 3, s. 145–155.

Úvod

Sledování některých parametrů během celkové anestezie je i v dnešní době vyspělých technologií obtížné. Nesnadno se přesně kvantifikuje a monitoruje hloubka celkové anestezie, úroveň analgezie posuzujeme v klinické praxi často pouze na základě zkušenosti a reakce nemocného na bolestivé podněty. Princip monitorování účinku svalových relaxancií je – na rozdíl od potíží při sledování výše uvedených komplexních modalit – poměrně jednoduchý a přímý – a od doby svého prvního použití v polovině minulého století [1] se nezměnil. Stimulátorem dodaný přesně definovaný elektrický proud vyvolá po průchodu motorickým nervem svalový stah. Změření intenzity této kontrakce umožňuje stanovit hloubku nervosvalové blokády.

Adekvátní monitorování účinku kurarimimetik během anestezie závisí na spolehlivosti a přesnosti použitého přístroje – periferního nervového stimulatoru. Kvalitní stimulatory jsou konstruovány jako „generátory konstantního proudu“, které jsou schopny dodávat elektrický impuls stálé intenzity. Každá změna pracovní rezistence je sledována automatickou korekcí výstupního napětí přístroje – stimulační proud tak zůstává neměnný bez ohledu na to, jak se mění zatěžovací odpor stimulatoru [2, 3, 4].

Cílem studie bylo objektivní posouzení vlastností přístrojů, které jsou u nás používány během celkové anestezie k monitorování účinku svalových relaxancií včetně stanovení jejich zatěžovacích charakteristik.

Materiál a metoda

Ve studii provedené v roce 2000 [5] jsme zjistili, jaké přístroje jsou v současnosti nejčastěji používány v České republice k monitorování účinku kurarimimetik. Od každého takto identifikovaného typu přístroje jsme získali jeden kus, který jsme podrobili laboratorním testům.

Nejprve jsme z technické dokumentace stimulatorů poznamenali jejich přesný název, rozměry a hmotnost, způsob napájení, dostupné stimulační vzorce (stimulation patterns) a šířku impulsu. Poznačili jsme, zda přístroj nabízí indikaci nedodržení stimulačního proudu, zda má možnost kalibrace a měření teploty. Zaznamenali jsme rovněž používanou metodu vyhodnocení svalové odpovědi.

V laboratorních podmínkách jsme zjišťovali, jak se přístroje vyrovnají se změnou zátěže, do níž pracují. Určovali jsme tak jejich schopnost chovat se jako generátory konstantního proudu. Každý stimulator jsme testovali v režimu jednotlivých impulsů (TW, single twitch) s opakováním po jedné sekundě ($f = 1,0$ Hz). K napájení přístrojů jsme použili vždy čerstvou alkalickou baterii příslušného typu nebo předepsaný síťový zdroj. Stimulátor jsme nechali pracovat

do postupně narůstající zátěže (od 50 do 10 000 ohmů), kterou představovala posloupnost přesně změřených stabilních odporů (R) řady E24. Jejich exaktní hodnota byla předem zjištěna digitálním multimetrem METEX® M-3270 s přesností na desetiny ohmu. Napětí na zatěžovacích odporech jsme stanovovali 100MHz digitálním osciloskopem EM221 (ETC, Slovenská republika, PCI zásuvný modul) s konstantním nastavením (časová základna 40 až 100 μ sec/d, citlivost 50 mV až 2 V/d, vstupní měřicí sonda s dělicím poměrem 1 : 1, 1 : 10 a 1 : 100, digitální filtr). Měření jsme prováděli po desetimiliampérových skocích od 10 do 60 mA a k výpočtům jsme použili vždy aritmetický průměr ze tří po sobě následujících měření pro každou rezistenci a zvolenou hodnotu proudu. Na základě Ohmova zákona ($I = U/R$) jsme pro každou rezistenci a deklarovaný stimulační proud spočítali skutečnou intenzitu procházejícího proudu a výsledky vyjádřili číselně i graficky.

Ke zpracování dat a prezentaci výsledků jsme použili statistický softwarový balík SPSS, Inc., USA (SPSS for Windows v.12.0.2, SigmaStat for Windows v.3.1, SigmaPlot for Windows v.9.0). Přesnost v dodržení stimulačního proudu jsme hodnotili parametrem RMSD (root mean square deviation) – obr. 1. Příslušným statistickým testem (analýza rozptylu při jednoduchém třídění [ANOVA], popř. Studentův t-test) jsme porovnali rozdíly v RMSD:

1. mezi různými přístroji při stejném stimulačním proudu,
2. mezi různými stimulačními proudy u téhož přístroje.

Výsledky jsou uvedeny ve formátu průměr (směrodatná odchylka), za statisticky významnou jsme považovali hodnotu $p < 0,01$.

$$\text{RMSD} = \sqrt{\frac{\sum_{n=1}^N (I_{nACT} - I_{SET})^2}{N-1}}$$

Obr. 1. Definice RMSD (root mean square deviation)

I_{ACT} – skutečný stimulační proud,

I_{SET} – nastavený stimulační proud

Kvalitu stimulační křivky jsme hodnotili zachycením obrazovky osciloskopu během měření. Graficky jsme tak vyjádřili, nakolik se stimulační křivka vyšetřovaného přístroje liší od ideální pravoúhlé křivky dokonalého stimulatoru. Stimulační křivku získanou z každého stimulatoru jsme vepsali do ideálního pravoúhlého tvaru. Planimetrickou analýzou srovnáním plochy pod ideální a skutečnou křivkou jsme stanovili rozdíl mezi těmito oblastmi a přístroje seřadili od nejlepšího po nejhorší.

Pro souhrnné hodnocení stimulatorů jsme stanovili 5 kategorií a v každé z nich jsme přístroje seřadili od nejlepšího po nejhorší. Kategorie představovaly:

Tabulka 1. Výrobce udávané vlastnosti periferních nervových stimulátorů

Typ stimulatoru	AS/3™ modul NMT	Innervator NS 252™	MultiStim LA	ParaGraph®	TOF-Guard®	TOF-Watch® SX
Výrobce	Datex-Ohmeda	Fisher&Paykel	Pajunk®	Vital Signs	Biometer	Organon
Stimulační vzorec	TW	S, R (1, 10, 20 s)	S, R (0,5, 1 s)	S, R (1, 10 s)	S, R (1, 10 s)	S, R (1, 10 s)
	TET	ne	50, 100 Hz	50 Hz	ne	50, 100 Hz
	TOF	S, R (10, 12, 15, 20 s, 1, 5, 15 min)	S, R (10 s)	S, R (20, 60 s)	S, R (15 s, 5 min)	S, R (15 s, 1-60 min)
	PTC	ano	ne	ano	ano	ano
	DBS	DBS _{3,3}	DBS _{3,3} , DBS _{3,2}	DBS _{3,3}	DBS _{3,3} , DBS _{3,2}	DBS _{3,3} , DBS _{3,2}
PROG	ne	ano	ne	ne	ne	ano
Šířka impulsu (μsec)	100, 200, 300	200	100, 300, 500, 1000	200	200, 300	200, 300
Stimulační proud (mA)	0-70	0-80 (160)	0-60	0-80	0-60	0-60
Indikace nedodržení stimulačního proudu	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Kalibrace	ano	ne	ne	ne	ano	ano
Metody vyhodnocení	TACT, VIS	ano	ano	ano	ano	ano
	ACC	ne	ne	ano	ano	ano
	EMG	ne	ne	ne	ne	ne
Měření teploty	ano	ne	ne	ne	16,0 – 41,5°C	20,0 – 41,5°C
Napájení	220 V stř + aku	4,5 V ss, 3 x AA (LR6)	9,0 V ss, 1 x 6LR61 (6AM6)	6,0 V ss, 4 x C (LR14, AM2)	9,0 V ss, 2 x 6LR61 (6AM6)	9,0 V ss, 1 x 6LR61 (6AM6)
Kontrola napětí baterie	ano	ano	ano	ano	ano	ano
Rozměry V x Š x H (cm)	11,0 x 3,7 x 18,0	16,0 x 7,3 x 4,3	12,5 x 6,5 x 2,2	23,4 x 14,7 x 4,1	19,5 x 8,5 x 3,5	20,0 x 9,0 x 5,0
Hmotnost (g)	375 (modul NMT)	180	175	833	550	250

Vysvětlivky:
S – single (jednotlivá stimulace), R – repetitive (opakovaná stimulace), TW – single twitch (jednotlivý impuls), TET – tetanické dráždění, TOF – train-of-four, PTC – post-tetanic count, DBS – double burst stimulation, PROG – možnost programování, TACT – taktilní, VIS – vizuální, ACC – akcelerometrie, EMG – elektromyografie

1. metoda vyhodnocení evokované svalové odpovědi (váha 30 %),
2. zatěžovací charakteristika (váha 20 %),
3. RMSD při 10 mA (váha 20 %),
4. RMSD při 60 mA (váha 20 %),
5. morfologie křivky při planimetrii (váha 10 %).

Pořadí v každé kategorii jsme zkorigovali váhovým koeficientem (uveden v závorce), který zohlednil význam a důležitost příslušné kategorie pro celkové hodnocení. Takto získané hodnoty jsme sečetli

a porovnali v souhrnném závěrečném hodnocení (čím menší výsledné číslo, tím lepší celkové hodnocení stimulatoru).

Výsledky

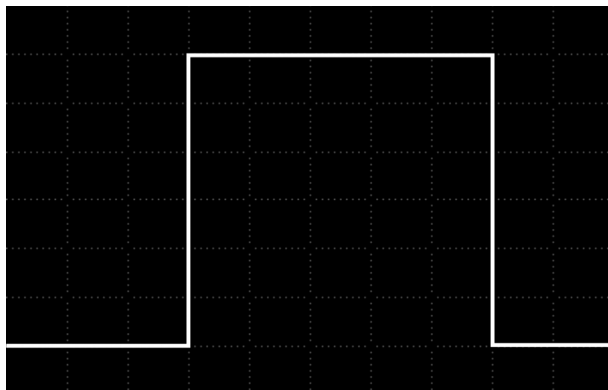
Na přelomu tisíciletí bylo na anesteziologických pracovištích České republiky k dispozici několik

Tabulka 2. RMSD (Root Mean Square Deviation) a směrodatná odchylka chyby stimulačního proudu

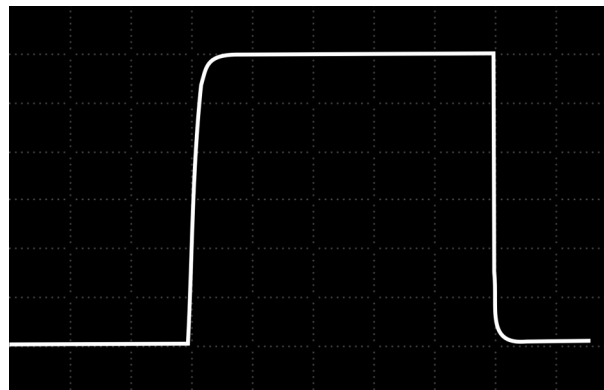
Typ stimulatoru	RMSD chyby stimulačního proudu (SD)					
	10 mA	20 mA	30 mA	40 mA	50 mA	60 mA
AS/3™	*\$2,9 (0,47)	*\$3,0 (0,82)	*\$3,3 (1,20)	*\$3,7 (1,63)	*\$4,4 (2,00)	*20,5 (17,00)
Innervator NS252™	*3,9 (0,08)	*5,0 (0,09)	*4,9 (0,16)	*4,5 (0,16)	*4,0 (0,16)	*4,2 (0,18)
MultiStim LA	\$0,1 (0,03)	*\$1,7 (1,30)	*\$7,5 (5,41)	*\$14,6 (9,56)	*22,4 (13,24)	*30,6 (16,87)
ParaGraph®	*\$7,4 (5,35)	*\$9,6 (6,53)	*\$12,5 (7,90)	*16,4 (10,14)	*20,2 (12,11)	*22,9 (13,42)
TOF-Guard®	\$0,11 (0,09)	\$0,3 (0,17)	0,8 (0,31)	0,7 (0,09)	0,7 (0,18)	1,3 (0,17)
TOF-Watch® SX	\$0,0 (0,01)	0,1 (0,07)	0,1 (0,05)	0,1 (0,04)	0,1 (0,05)	0,2 (0,10)

Vysvětlivky:

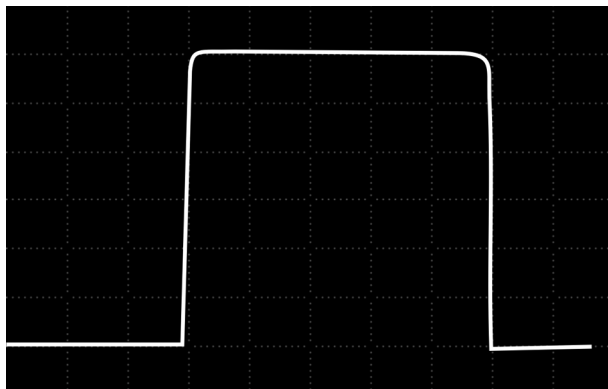
*p < 0,01 vs TOF-Watch® SX; \$p < 0,01 vs 60 mA



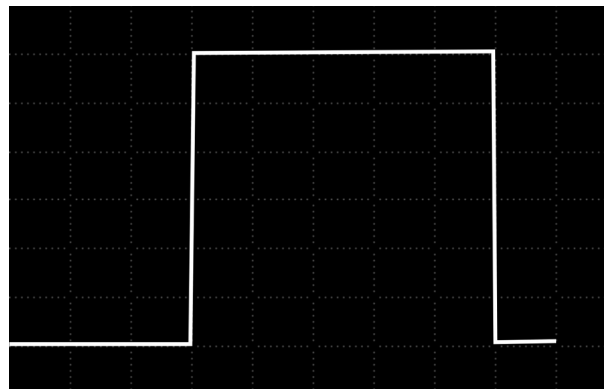
Obr. 2a. Ideální stimulator – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



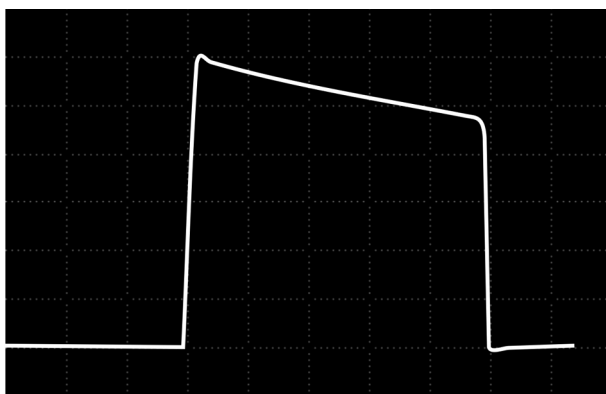
Obr. 2c. Innervator NS252™ (Fisher-Paykel) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



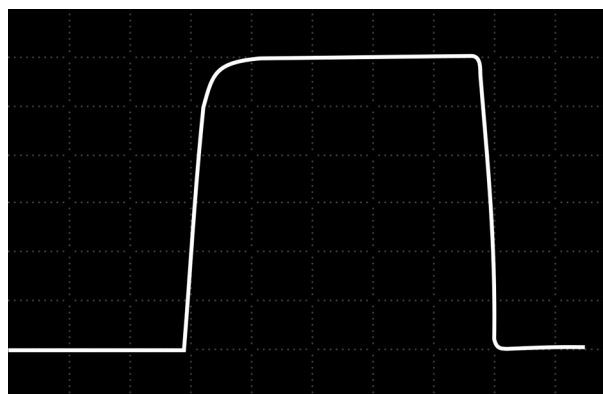
Obr. 2b. AS/3™ (Datex-Ohmeda) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



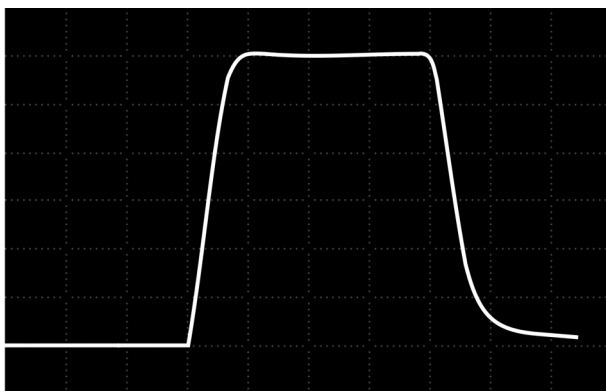
Obr. 2d. MultiStim LA (Pajunk) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



Obr. 2a. ParaGraph® (Vital Signs) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



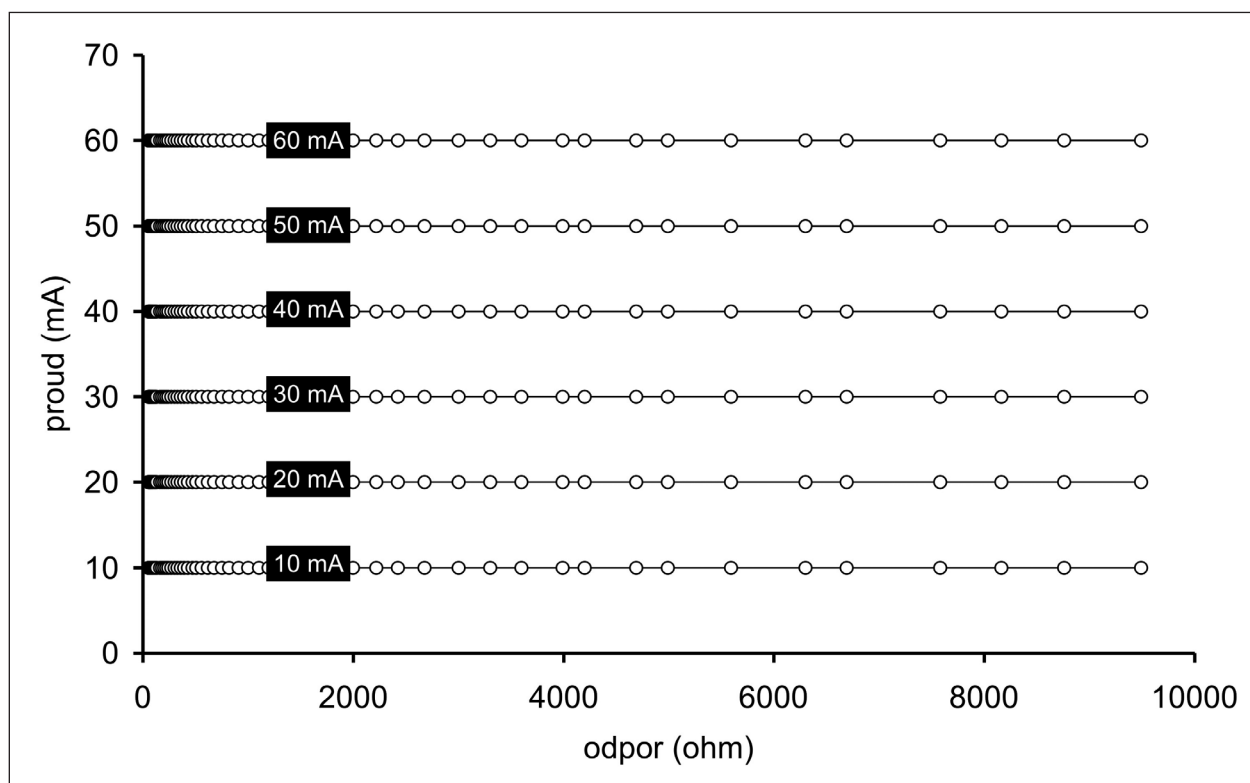
Obr. 2g. TOF-Watch® SX (Organon) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)



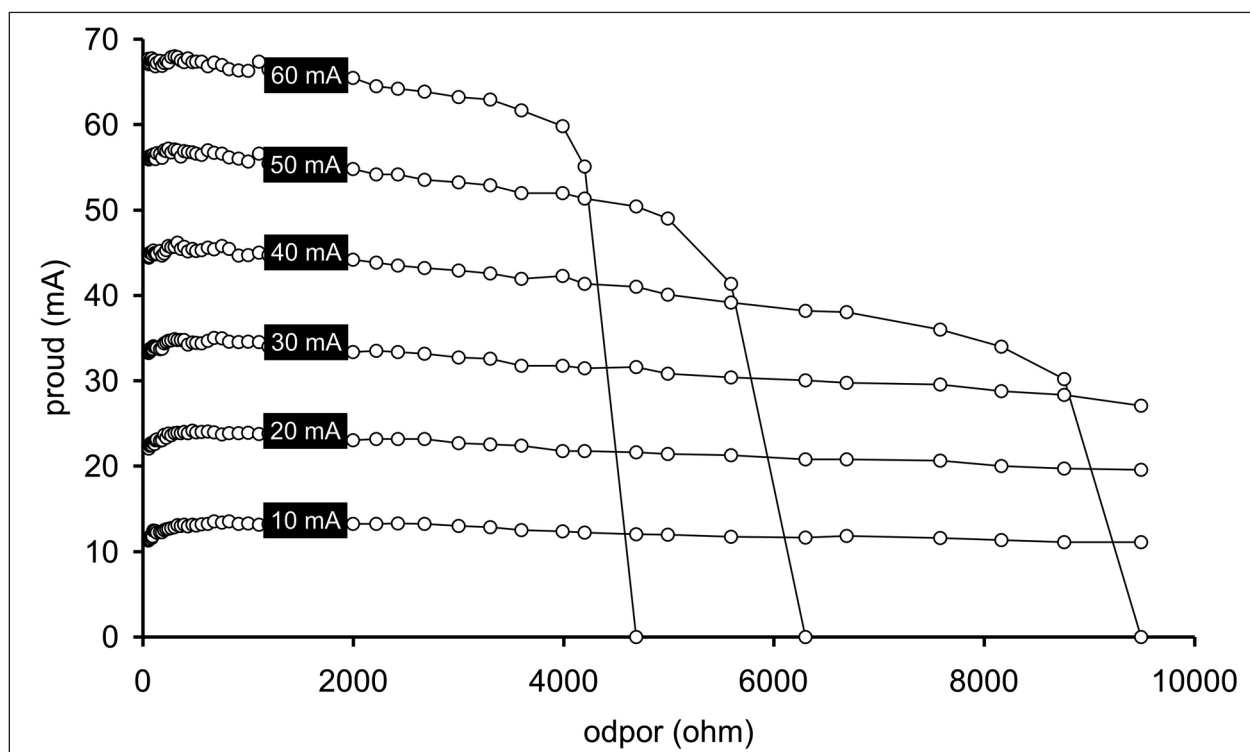
Obr. 2f. TOF-Guard® (Biometer) – tvar stimulační křivky v režimu jednotlivého impulzu (single twitch, TW)

druhů přístrojů pro monitorování nervosvalového přenosu během anestezie. Pro testování jsme získali 6 nejčastěji používaných stimulatorů od různých výrobců. Přístroje s kvantitativním vyhodnocením svalové odpovědi byly reprezentovány modulárním systémem AS/3™ Anaesthesia Monitor (Datex-Ohmeda), přístrojem ParaGraph® (Vital Signs) a stimulátory TOF-Guard® (Biometer) a TOF-Watch® SX (Organon). Jednodušší zařízení, umožňující pouze semikvantitativní určení evokované svalové odpovědi, byla zastoupena přístroji Innervator NS 252™ (Fisher&Paykel) a MultiStim LA (Pajunk®).

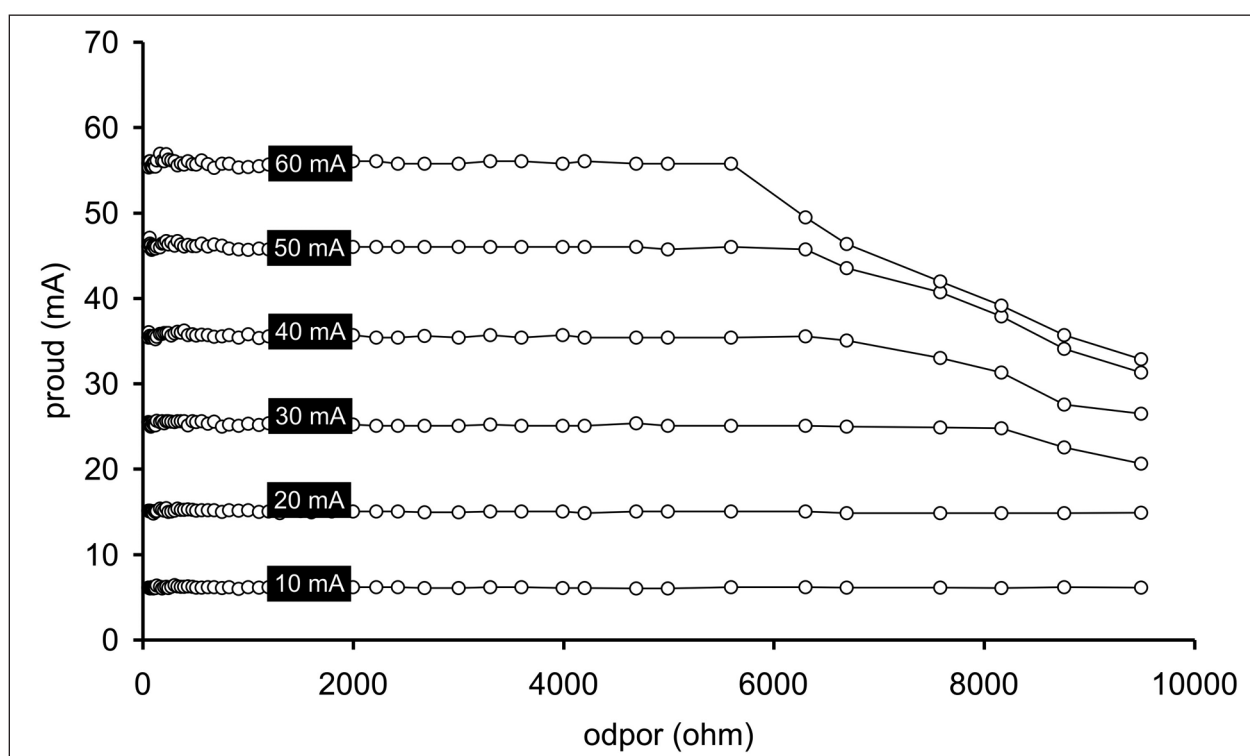
Výrobce udávané vlastnosti přístrojů shrnuje tabulka 1.



Obr. 3a. Ideální stimulator – zatěžovací charakteristika



Obr. 3b. AS/3™ (Datex-Ohmeda) – zatěžovací charakteristika

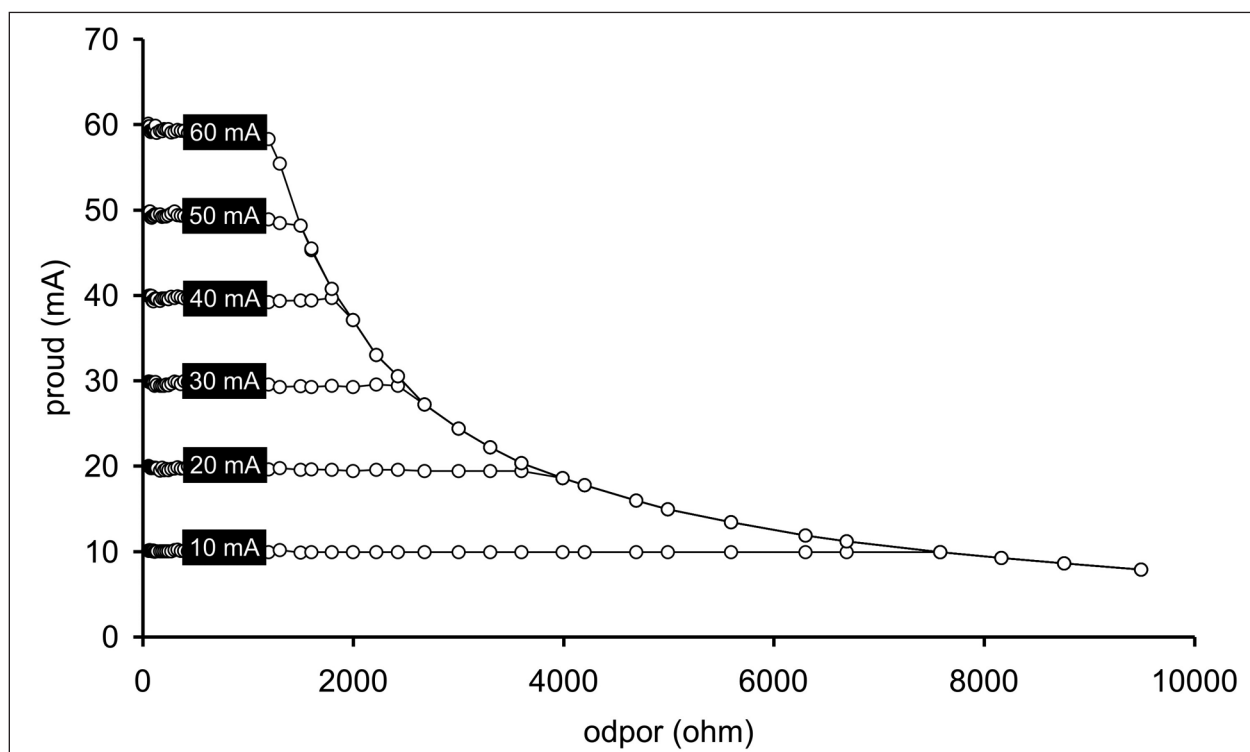


Obr. 3c. Innervator NS252™ (Fisher-Paykel) – zatěžovací charakteristika

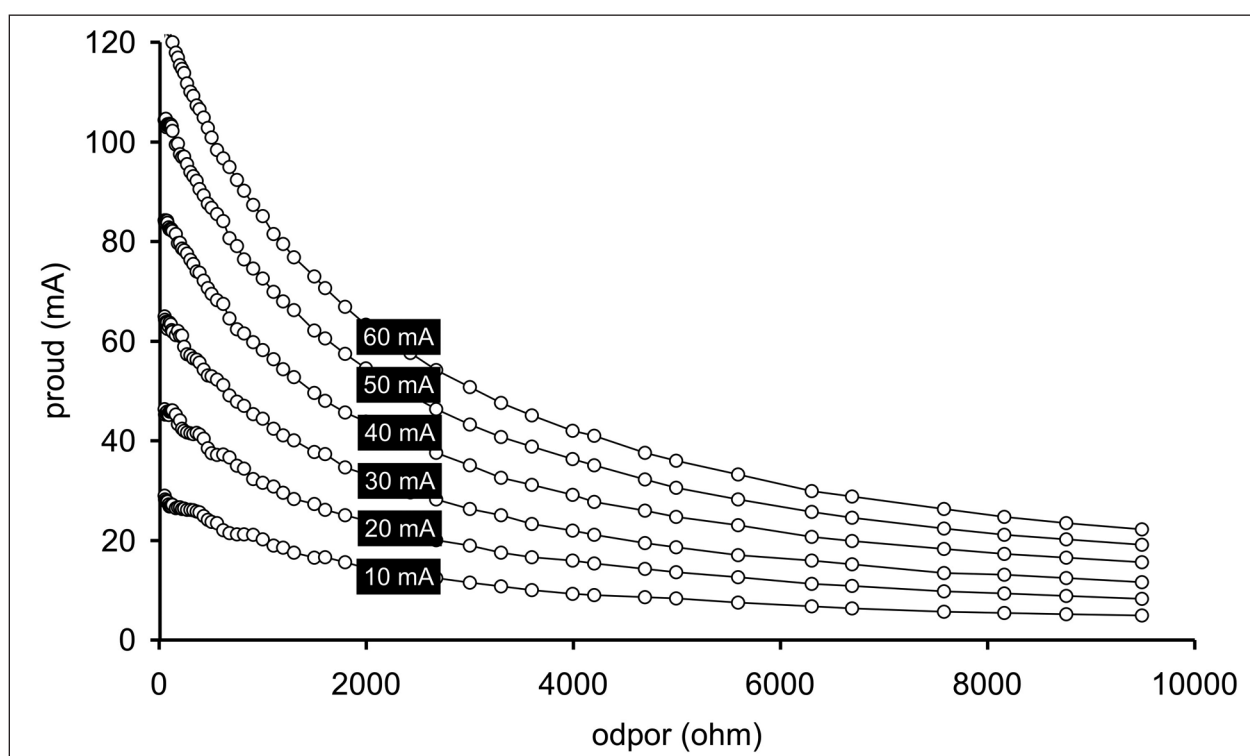
Přesnost stimulačního proudu, charakterizovaná parametrem RMSD, shrnuje tabulka 2. Popisuje jednak průměrné hodnoty a statistickou významnost rozdílů RMSD mezi různými stimulačními proudy (10 mA a 60 mA) téhož přístroje a zároveň porovnává, zda se parametr RMSD při určitém stimulačním prou-

du daného přístroje liší od odpovídajícího parametru RMSD nejpřesnějšího stimulatoru (tím byl TOF-Watch® SX).

Na obrázcích 2 a–g jsou zachyceny typické průběhy stimulačního proudu všech přístrojů v režimu jednotlivého impulzu (TW).



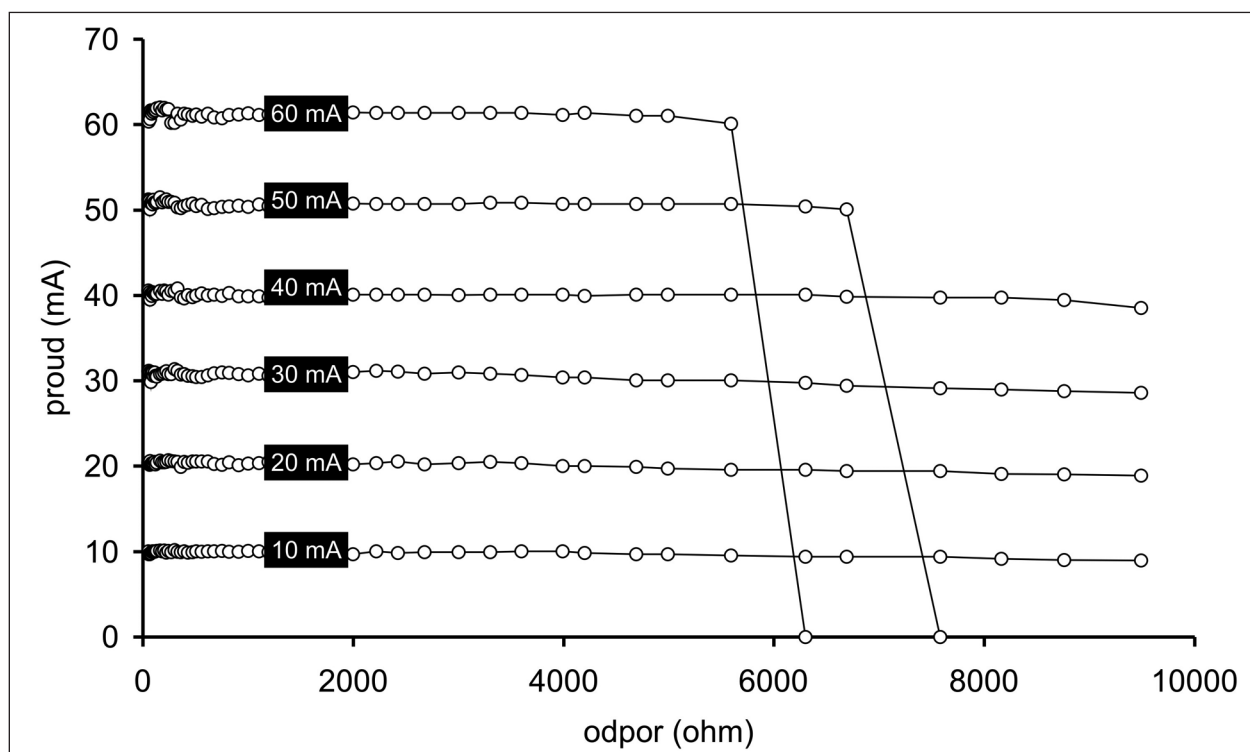
Obr. 3d. MultiStim LA (Pajunk) – zatěžovací charakteristika



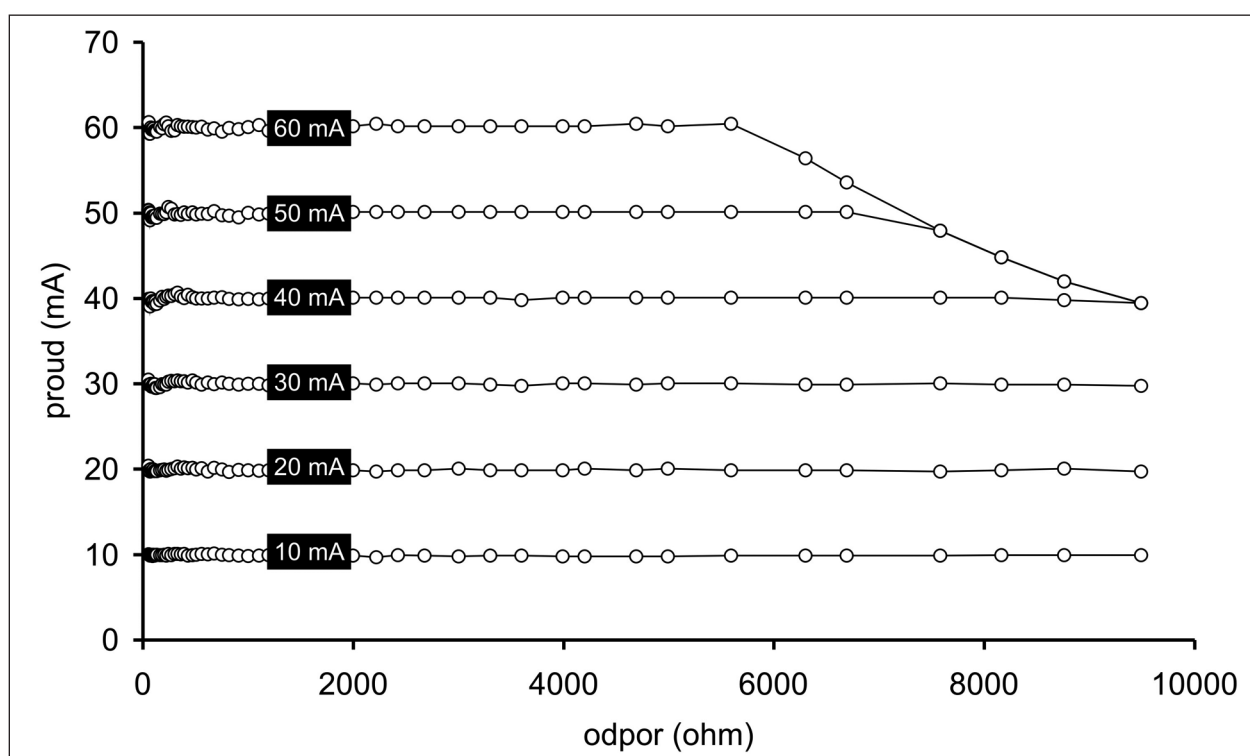
Obr. 3e. ParaGraph® (Vital Signs) – zatěžovací charakteristika

Zatěžovací charakteristiky přístrojů jsou ukázány na obrázku 3 a–g.

Výsledné hodnocení přístrojů popisují tabulky 3 a 4, které zachycují pořadí stimulátorů ve sledovaných kategoriích i upravené pořadí zohledňující váhovou korekci kategorií.



Obr. 3f. TOF-Guard® (Biometer) – zatěžovací charakteristika



Obr. 3g. TOF-Watch® SX (Organon) – zatěžovací charakteristika

Diskuse

Spolehlivé přístrojové vybavení (hardware) je kromě programové výbavy (software pro generování stimulačního vzorce) spolu se znalostí metodiky moni-

torování a správné interpretace získaných údajů („know-how“) základním předpokladem přesného sledování účinku kurarimimetik.

Všechny postupy přístrojového monitorování nervosvalového přenosu zahrnují dvě fáze. První z nich je elektrická stimulace motorického nervu přesně

Tabulka 3. Pořadí stimulatorů v jednotlivých testech

	Typ přístroje (kvant x semikvant)	Zatěžovací charakteristika	RMSD 10 mA	RMSD 60 mA	Morfologie křivky	Součet
AS/3™	1	4	4	4	2	15
Innervator NS252™	2	3	5	3	3	16
MultiStim LA	2	5	2	6	1	16
ParaGraph®	1	6	6	5	5	23
TOF-Guard®	1	2	3	2	6	14
TOF-Watch® SX	1	1	1	1	4	8

Tabulka 4. Celkové hodnocení NMT stimulatorů

	AS/3™	Innervator NS252™	MultiStim LA	Para Graph®	TOF-Guard® SX	TOF-Watch®
1. metoda vyhodnocení	1	3	3	2	2	2
váhová korekce (30 %)	30	90	90	60	60	60
2. zatěžovací charakteristika	4	3	5	6	2	1
váhová korekce (20 %)	80	60	100	120	40	20
3. RMSD (10 mA)	4	5	2	6	3	1
váhová korekce (20 %)	80	100	40	120	60	20
4. RMSD (60 mA)	4	3	6	5	2	1
váhová korekce (20 %)	80	60	120	100	40	20
5. planimetrie, tvar křivky	2	3	1	5	6	4
váhová korekce (10 %)	20	30	10	50	60	40
Součet korigovaných hodnot	290	340	360	450	260	160
Celkové pořadí v testu	3.	5.	4.	6.	2.	1.

definovanými impulzy supramaximální intenzity, druhou představuje vyhodnocení příslušné svalové odpovědi na daný elektrický podnět. V současné době neexistuje univerzální stimulační vzorec (stimulation pattern) či sekvence stimulů, které by umožnily správné vyhodnocení všech úrovní nervosvalové blokády. Některé stimulační režimy jsou vhodnější pro monitorování nastupující či odeznívající relaxace (TW, DBS), jiné lépe kvantifikují hlubokou nervosvalovou blokádu (PTC).

Většina studovaných přístrojů je schopna generovat všechny obvyklé stimulační vzorce (tab. 1), a to buď jako jednotlivé sekvence, nebo seřazené v sériích s nastavitelným intervalem opakování. Základním tvarem elektrického impulzu, od něhož se odvozují všechny složitější stimulační vzorce, je jednotlivý pravouhlý impuls (TW, single twitch) s délkou trvání většinou 200 μ sec (u některých přístrojů i s možností volby jiné šířky). Dráždění k tetanickému stahu (TET) je zpravidla k dispozici o frekvenci 50 nebo 100 Hz. Některé přístroje poskytují možnost tetanického dráždění samostatně, jiné jen jako součást sekvence PTC (post-tetanic count). Režim TOF (train-of-four) jako nejuniverzálnější vzorec poskytují všechny stimulatory. Stejně je tomu s režimem DBS (double burst stimulation), který je doporučován především k detekci reziduální kurarizace pomocí jednodušších přístrojů, u nichž chybí možnost kvantitativního vyhodnocení svalové odpovědi. Tři přístroje (Innervator NS 252™, TOF-Guard® a TOF-Watch® SX) nabízejí v režimu DBS možnost zvolit počet impulzů druhé série (DBS_{3,3} nebo DBS_{3,2}). U dvou stimulatorů (Innervator NS 252™, TOF-Watch® SX) lze v programovacím

módu vytvořit vlastní uživatelskou stimulační sekvenci. Podle technické dokumentace jsou všechny zkoumané přístroje schopny dodávat stimulační proud od 0 do 60 mA, mají zabudovanou kontrolu baterií a indikaci stavu, kdy není možné dodržet zvolenou hodnotu stimulačního proudu (pro vysoký zatěžovací odpor nebo kritický pokles napájecího napětí).

Podle metody vyhodnocení evokované svalové odpovědi lze stimulatory zařadit do jedné ze dvou skupin:

1. Přístroje se semikvantitativním vyhodnocením jsou jednodušší (Innervator NS 252™, MultiStim LA). Umí pouze generovat stimulační proud podle příslušného vzorce, svalovou odpověď je nutno odhadovat zrakem nebo palpací (vizuálně nebo taktilně).

2. Přístroje s kvantitativním vyhodnocením svalovou sílu jako odpověď na elektrické podráždění skutečně měří. Nejčastěji používanou metodou je akcelerometrie, která měří zrychlení vznikající při pohybu vyvolaném kontrakcí monitorovaného svalu. Fyzikální princip metody představuje 2. Newtonův zákon (síla = hmotnost $\cdot$ zrychlení) – při konstantní hmotnosti je zrychlení přímo úměrné síle. Akcelerační převodník, jehož podstatnou součástí je piezoelektrický krystal, produkuje napětí proporcionální velikosti zrychlení. Současné akcelerometrické přístroje jsou kompaktní a rychle nastavitelné (ParaGraph®, TOF-Guard®, TOF-Watch® SX). AS/3™ Anaesthesia Monitor jako jediný stimulator v testu nabízí jak akcelerometrické, tak elektromyografické vyhodnocení. Elektromyografie je elektrofyziologická metoda zachycující výsledný svalový akční potenciál (CMAP – Compound Muscle Action Potential), který předchází

mechanickému stahu. Všechny přístroje s kvantitativním vyhodnocením nabízejí rovněž automatickou kalibraci s možností stanovení velikosti supramaximálního impulzu a tomu odpovídajícího stahu.

Všechny testované přístroje byly výrobcem označeny jako generátory konstantního proudu. Schopnost dodávat neměnný stimulační proud do různé velké zátěže jsme ověřovali v laboratorních podmínkách stanovením zatěžovacích charakteristik stimulatorů. Skutečný odpor mezi kožními stimulačními elektrodami při monitorování nervosvalového přenosu může kolísat od desítek ohmů do několika kiloohmů a je komplexní povahy. Tvoří ho nejen složka odporová (rezistence, R), ale i komponenta kapacitní (C) a impedanční (L). Při frekvenci stimulačních impulsů používaných při monitorování NMT však lze obě poslední součásti (kapacitu a impedanci) zanedbat a počítat pouze se složkou činného odporu (R). Ke zjišťování zatěžovacích charakteristik jsme příslušné pracovní odpory vytvářeli pomocí přesných stabilních rezistorů řady E24 v rozmezí od 50 do 10 tisíc ohmů. V laboratorních podmínkách jsme tak simulovali všechny možné velikosti pracovního odporu simulátoru, které mohou nastat při skutečném monitorování NMT.

Stanovení zatěžovacích charakteristik prokázalo velké rozdíly mezi přístroji. Nejlepších výsledků jsme dosáhli se stimulatorem TOF-WATCH®SX, který v rozsahu od 0 do 5,5 kiloohmů splňoval vlastnosti ideálního generátoru konstantního proudu. Charakteristiky přístrojů MultiStim LA a ParaGraph® byly naopak nejhorší. Zatímco stimulator MultiStim LA byl schopen dodržet konstantní proud alespoň při nízkém zatěžovacím odporu do 1000 ohmů, hodnota stimulačního proudu u přístroje ParaGraph® kolísala s pracovní zátěží v celém měřeném rozsahu.

Všechny stimulatory byly schopné poskytovat impulzy stále šířky 200 μ sec, ale jejich morfologie často zaostávala za ideálním obdélníkovým tvarem. Nejdokonalejší tvar křivky poskytovaly přístroje MultiStim LA, Innervator NS 252™ a AS/3™, naopak nejvíce deformovaný byl impuls u stimulatorů ParaGraph® a TOF-Guard®.

Přesnost stimulatorů při dodržení zvoleného proudu jsme posuzovali podle parametru RMSD (obr. 1, tab. 2). Nej kvalitnější byly přístroje TOF-Watch® SX a TOF-Guard®, u nichž se v celém rozsahu skutečná intenzita dodávaného proudu nejvíce blížila nastaveným hodnotám. U všech stimulatorů, kromě Innervatoru NS 252™, byl parametr RMSD nejmenší při nízkých prouděch (10 mA) a největší při vysokých intenzitách (60 mA). Přesnost přístrojů při generování impulsů tedy klesala s rostoucím stimulačním proudem.

Pro celkové hodnocení (tab. 3 a 4) jsme použili složený ukazatel, který je sice schopen porovnat stimulatory číselně, jeho použití je však nevyhnutelně spojeno se subjektivním názorem při stanovení váhy použitých kategorií. Kromě faktoru určeného konstrukcí přístroje (metoda vyhodnocení svalové odpovědi) odráží zvolená velikost váhy údaje získané

měřením (zatěžovací charakteristika, RMSD). Váhu jednotlivých kategorií jsme stanovili podle toho, které vlastnosti považujeme z vlastní zkušenosti při hodnocení přístrojů za rozhodující. Nejvyšší důležitost (30 %) jsme tak přidělili způsobu vyhodnocení svalové odpovědi, protože jedině přístroje s kvantitativním vyhodnocením nervosvalový přenos skutečně měří (a hloubku blokády vyjadřují digitálně). U stimulatorů se semikvantitativní evaluací se musíme spolehnout pouze na poměrně nepřesný taktilní nebo vizuální odhad síly svalových kontrakcí. Opakovaně bylo prokázáno, že odlišit i závažný stupeň především reziduální kurarizace je jednoduchými přístroji obtížné až nemožné [6, 7]. 20% váhu jsme propůjčili kategoriím, které popisovaly naměřené hodnoty (zatěžovací charakteristika a RMSD při 10, respektive 60 mA). Jednoduchým způsobem nelze stanovit, jaký vliv na přesnost měření má morfologie stimulačního impulsu, zvláště pokud jsou deformace křivek relativně malé. Této kategorii jsme proto přisoudili nejmenší váhu (10%).

Stručné charakteristiky přístrojů

TOF-Watch® SX (Organon) – kompaktní, bateriově napájený přístroj, všechny používané stimulační vzorce, akcelerometrické vyhodnocení, dva způsoby kalibrace, nejpřesnější stimulační proud.

TOF-Guard® (Biometer) – kompaktní, bateriově napájený přístroj, všechny používané stimulační vzorce, možnost volby mezi DBS_{3,3} a DBS_{3,2}, akcelerometrické vyhodnocení, možnost kalibrace, druhý v testech přesnosti stimulačního proudu; na rozdíl od svého následníka (TOF-Watch® SX) umí zobrazit evokovanou svalovou odpověď i graficky.

AS/3™ (Datex-Ohmeda) – součást modulárního monitorovacího systému, napájen ze sítě + záložním bateriovým zdrojem, všechny používané stimulační vzorce kromě TET, automatická kalibrace. Jako jediný přístroj v testu nabízí akcelerometrické i elektromyografické vyhodnocení, třetí v testech přesnosti stimulačního proudu, grafická i číselná prezentace výsledků měření a trendů.

MultiStim LA (Pajunk) – kompaktní, bateriově napájený přístroj, všechny používané stimulační vzorce kromě PTC, pouze semikvantitativní vyhodnocení, nekvalitní zatěžovací charakteristika, nejlepší tvar stimulační křivky.

Innervator NS252™ (Fisher-Paykel) – kompaktní, bateriově napájený přístroj, všechny používané stimulační vzorce s maximálním proudem až 160 mA, možnost volby mezi DBS_{3,3} a DBS_{3,2}, možnost programování vlastního stimulačního vzorce, průměrná zatěžovací charakteristika, pouze semikvantitativní vyhodnocení.

ParaGraph® (Vital Signs) – kompaktní, ale relativně velký a těžký přístroj (833 g), všechny používané stimulační vzorce, akcelerometrické vyhodnocení, nejnížší přesnost stimulačního proudu, nejhorší zatěžovací charakteristika – podle výsledků testu ho nelze považovat za generátor konstantního proudu.

Závěr

Spolehlivý stimulátor je nezbytným předpokladem úspěšného monitorování nervosvalového přenosu v anesteziologii.

Všechny testované přístroje byly výrobcem deklarovány jako generátory konstantního proudu, podle výsledku měření však splňovaly tuto charakteristiku pouze některé.

Přesnost všech přístrojů (kromě Innervatoru NS 252™) klesala s růstem stimulačního proudu.

Nejpřesnější stimulační proud poskytoval přístroj TOF-Watch® SX, nejhorších výsledků jsme dosáhli se stimulátorem ParaGraph®.

Literatura

1. **Christie, T. H., Churchill-Davidson, H. C.** The St. Thomas's Hospital nerve stimulator in the diagnosis of prolonged apnoea. *Lancet*, 1958, 1, p. 776.
2. **Bevan, D. R., Donati, F.** *Muscle relaxants*. In Barash, P. G., Cullen, B. F., Stoelting, R. K. (Eds) *Clinical Anesthesia*. 4th edition, Philadelphia : Lippincott Williams and Wilkins 2001, p. 434–436.
3. **Viby-Mogensen, J., Engbaek, J., Eriksson, L. I., Gramstad, L., Jensen, E., Jensen, F. S. et al.** Good Clinical Research

Practice (GCRP) in pharmacodynamic studies of neuromuscular blocking agents. *Acta Anaesth. Scan.*, 1996, 40, p. 59–74.

4. **Viby-Mogensen, J., Ostergaard, D., Donati, F., Fisher, D., Hunter, J., Kampmann, J. P.** Pharmacokinetic studies of neuromuscular blocking agents: Good Clinical Research Practice (GCRP). *Acta Anaesth. Scan.*, 2000, 44, p. 1169–1190.
5. **Adamus, M., Marek, O.** Monitorování účinku kurarimimetik během anestezie – současný stav v České republice. *Anest. neodklad. Péče*, 2000, 11, p. 245–250.
6. **Greer, R., Harper, N. J. N., Pearson, A. J.** Neuromuscular monitoring by intensive care nurses: comparison of acceleromyography and tactile assessment. *Brit. J. Anaesth.*, 1998, 80, p. 384–385.
7. **Fruergaard, K., Viby-Mogensen, J., Berg, H., Et-Mahdy, A. M.** Tactile evaluation of the response to double burst stimulation decreases, but does not eliminate, the problem of postoperative residual paralysis. *Acta Anaesth. Scan.*, 1998, 42, p. 1168–1174.

Práce vznikla za podpory grantového projektu IGA MZ ČR ND7665-3/2003.

Došlo 27. 3. 2006.

Přijato 11. 4. 2006.

Adresa pro korespondenci:

MUDr. Milan Adamus, Ph.D.

Kaštanová 11

772 00 Olomouc

e-mail: milan.adamus@seznam.cz

OZNÁMENÍ

4. anesteziologické dny Vysočiny

26.–27. 10. 2006

Místo konání: Jihlava, Horácké divadlo Jihlava, Hotel Gustav Mahler

Přihlášky k aktivní účasti zaslat do 15. srpna 2006.

Přihlášky k pasivní účasti zaslat do 31. srpna 2006.

Témata:

1. Aktuální otázky v oboru ARIM a algeziologie
 2. MODS a možnosti orgánové podpory
 3. Anesteziologické komplikace a jejich řešení
 4. Anesteziolog a akutní bolest
- (Lékařská a sesterská sekce: minisympozium, meet the expert)

Kontaktní adresa: Jarmila Cmuntová, ARO Nemocnice Jihlava, příspěvková organizace, Vrchlického 59, 586 33 Jihlava nebo elektronicky: <http://www.nemji.cz/ADV>

Poplatek: lékaři 500,- Kč, sestry 400,- Kč, první autor příspěvku 0 Kč; poplatky je nutno uhradit do 31. srpna 2006, po termínu +100,- Kč.
Vstupné na společenský večer 100,- Kč uhradit při registraci.

Platby: Účastnický poplatek bankovním převodem na uvedený účet Nemocnice Jihlava, příspěvková organizace: KB Jihlava, č. účtu 18736681/0100, variabilní symbol 24250.