

PŮVODNÍ PRÁCE

TOF-Watch® SX vs Datex-Ohmeda M-NMT – srovnání TOF-ratio měřeného akcelerometricky a elektromyograficky: klinická, prospektivní, kontrolovaná studie

Adamus M.¹, Adamus P.², Bělohlávek R.³, Vujčíková M.¹, Janásková E.¹

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: Srovnání přesnosti dvou přístrojů pro měření nervosvalového přenosu s elektromyografickým a akcelerometrickým vyhodnocením svalové odpovědi v průběhu svalové relaxace cisatracuriem a rokuroniem. Stanovení efektivity akcelerometrie při detekci reziduálního bloku.

Typ studie: klinická, prospektivní, randomizovaná, kontrolovaná.

Název a sídlo pracoviště: Klinika anesteziologie a resuscitace univerzitní nemocnice.

Materiál a metoda: Po získání souhlasu etické komise a informovaného souhlasu jsme vyšetřovali 47 nemocných podstupujících plánovaný operační výkon v celkové anestezii se svalovou relaxací a tracheální intubací. U každého nemocného jsme TOF-ratio měřili současně akcelerometricky (TOF-Watch® SX, Organon) a elektromyograficky (Datex-Ohmeda). Srovnali jsme párová měření TOF-ratio a stanovili hodnoty bias, limity shody, senzitivity, specifity a validity akcelerometrie při detekci reziduální blokády.

Výsledky: Získali jsme 1505 párových měření (TOF_{EMG} a TOF_{ACC}). Průměrný rozdíl v TOF-ratio (bias) byl -1,4 % (SD 10,9). Meze shody (rozmezí, v němž leží 95 % rozdílů mezi měřeními) byly -23,3 až +20,5 %. Senzitivita, specifita a validita akcelerometrie při detekci reziduální blokády (TOF_{EMG} ≥ 90 %) byla 47, 97 a 92 procent. Obě metody poskytovaly spolehlivou informaci o hloubce relaxace, akcelerometrie byla schopna s přijatelnou přesností detekovat reziduální blok.

Závěr: Akcelerometrie (TOF-Watch® SX) představuje spolehlivý klinický nástroj pro detekci reziduální blokády. Její výsledky však nejsou zaměnitelné s údaji získanými elektromyograficky (Datex-Ohmeda).

Klíčová slova: nervosvalová blokáda – elektromyografie – akcelerometrie – TOF-ratio

Abstract

TOF-Watch® SX vs. Datex-Ohmeda M-NMT: A comparison of the TOF-ratio measured with accelerometry or electromyography. A clinical, prospective, controlled study.

Objective: To compare the TOF-ratio measured with acceleromyography (ACC) and electromyography (EMG) during cis-atracurium or rocuronium-induced neuromuscular blockade. To determine the effectiveness of accelerometry for detection of a residual block.

Design: Clinical, prospective, comparative, controlled study.

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

Materials and Methods: Following local ethics committee approval and obtaining informed consent, 47 patients scheduled for elective surgery under total intravenous anaesthesia with tracheal intubation and muscle relaxation were studied. In each consecutive patient, accelerometry (TOF-Watch® SX, Organon) and electromyography (Datex-Ohmeda) were used simultaneously to determine the TOF-ratio. Paired TOF-ratios were compared and bias, limits of agreement, sensitivity, specificity and validity for the accelerometric detection of the residual block were calculated.

Results: 1,505 paired measurements of TOF were obtained (TOF_{EMG} and TOF_{ACC}). The average difference in the TOF-ratios showed a bias of -1.4% (SD 10.9). The limits of agreement (range in which 95% of the differences between paired measurements are expected to lie) were -23.3 to +20.5%. The sensitivity, specificity and validity of accelerometry to detect recovery from the neuromuscular block (TOF_{EMG} ≥ 90%) were 47, 97 and 92% respectively. Both measurement techniques provided reliable information about the degree of neuromuscular block. Under the described study conditions accelerometry was able to detect residual neuromuscular blockade with acceptable precision.

Conclusion: Accelerometry (TOF-Watch® SX) is a reliable clinical tool for the detection of a residual block but its results cannot be used interchangeably with electromyography (Datex-Ohmeda).

Key words: neuromuscular blockade – electromyography – accelerometry – TOF-ratio

Anest. intenziv. Med., 17, 2006, č. 6, s. 281–286.

Úvod

Na anesteziologických pracovištích České republiky je k dispozici několik druhů přístrojů pro vyhodnocení nervosvalového přenosu (NMT) [1]. Frekvence jejich používání je však u nás hodně vzdálená stavu, kdy by bylo možno měření hloubky nervosvalového bloku označit za rutinní postup. Jednou z příčin je jistě těžkopádnost, složitost i časová náročnost úvodního nastavení, které např. u mechanomyografie (MMG) běžně přesahuje 20 minut. Tato okolnost celou metodu v očích anesteziologické veřejnosti diskredituje a v konečném důsledku vede k jejímu odmítnutí.

Moderní monitory NMT pracují na principu odlišném od mechanomyografie. Východiskem sice zůstává stimulace periferního motorického nervu a sledování příslušné svalové odezvy, ale intenzita evokované svalové odpovědi není určována přímým měřením svalové síly nebo změny svalového napětí jako u mechanomyografie. Mohutnost kontrakce se odvozuje ze zrychlení pohybu, který vzniká jako odpověď na stimulaci. Metoda byla uvedena do praxe v roce 1988 Viby-Mogensenem [2, 3] a dostala název akcelerometrie (ACC). Využívá piezoelektrických vlastností keramického převodníku, který generuje napěťový signál v závislosti na deformaci, jež vzniká při pohybu vyvolaném svalovým stahem při stimulaci motorického nervu. Při konstantní hmotnosti je pak síla stahu přímo úměrná vyvinutému zrychlení (2. Newtonův zákon). Přístroje pracující na akcelerometrickém principu jsou většinou kompaktní, napájené bateriemi, lze je snadno přenášet i kalibrovat.

Ve studii jsme srovnávali přesnost dvou přístrojů s odlišným vyhodnocením svalové odpovědi. Zatímco přístroj TOF-Watch® SX (Organon) využívá akcelerometrii, systém Datex-Ohmeda S/5 s NMT modulem jsme použili v režimu elektromyografie (EMG). Soustředili jsme se na parametr TOF-ratio a především jeho schopnost detekovat reziduální kurarizaci na konci operačního výkonu.

Metodika

Studie byla schválena Etickou komisí FN a LF UP Olomouc a nemocní před zařazením do ní poskytli informovaný souhlas. Vyšetřovali jsme nemocné ve věku 18–70 let, podstupující plánovaný operační výkon všeobecné chirurgie v totální intravenózní anestezii s nutností tracheální intubace a svalové relaxace. Ze studie byli vyloučeni rizikovní nemocní (s ASA klasifikací vyšší než 3), ti, od nichž jsme neobdrželi souhlas, a ti, u nichž jsme neměli během operace volný přístup k oběma předloktím. Demografické údaje nemocných (pohlaví, věk, výška, hmotnost, ASA klasifikace) jsme získali z anesteziologického dotazníku a obvyklým způsobem jsme vypočetli hodnoty BSA a BMI [4].

Anestezie

Perorální premedikace zahrnovala diazepam v dávce 5–10 mg jednu hodinu před plánovaným začátkem operace. Po příjezdu nemocného na operační sál jsme založili monitorování EKG křivky, neinvazivního tlaku (NIBP) a saturace hemoglobinu kyslíkem (SpO₂) a zajistili nitrožilný vstup zavedením periferní kanyly velikosti 18 nebo 20 G. Ke sledování a záznamu všech funkcí během anestezie jsme použili přístroj Datex-Ohmeda S/5™ Anaesthesia Monitor s příslušnými moduly (EKG křivka, NIBP, pulzní oxymetrie, složení dechové směsi v inspiriu a na konci expira – O₂, CO₂, spirometrie, teplota tělesného jádra, kožní teplota, NMT). Po třech minutách preoxygenace a intravenózně podané premedikaci (midazolam, Dormicum® firmy F. Hoffmann-LaRoche, 0,05 mg · kg⁻¹, sufentanil Sufenta® forte fy Janssen Pharmaceutica, 0,1 µg · kg⁻¹) jsme indukci i vedení totální intravenózní anestezie zajistili přístrojem Base Primea® fy Fresenius Vial). Ten jsme nastavili v režimu TCI (target-controlled infusion) na iniciační cílovou plazmatickou hladinu propofolu (Propofol, Abbott, Abbott Laboratories) 2,0 µg · ml⁻¹ v modelu podle Schnidera [5]; cílovou plazmatickou hodnotu pro sufentanil jsme zvolili v Geptsově modelu 1,8 ng · ml⁻¹ [5]. Obě hodnoty jsme korigovali podle klinické odezvy během anestezie. K usnadnění tracheální intubace jsme podali buď cisatrakurium (Nimbex®, Glaxo SmithKline, 0,15 mg · kg⁻¹), nebo rokuronium (Esmeron®, Organon, 0,6 mg · kg⁻¹). Po dosažení maximální deprese T₁ podle EMG jsme provedli tracheální intubaci a parametry umělé plicní ventilace (směs 40 % kyslíku a vzduchu) jsme nastavili v režimu „low-flow“ k dosažení hodnoty EtCO₂ 5,0 kPa. Pokud to vyžadoval průběh operace, další svalovou relaxaci jsme udržovali doplňujícími dávkami cisatrakuria (0,05 mg · kg⁻¹) nebo rokuronu (0,1 mg · kg⁻¹) při zotavení T₁ na 25 %. Podávání sufentanilu jsme ukončili 20 minut před koncem operace. Dekurarizaci (neostigmin, Syntostigmin, Hoechst-Biotika, 0,04 mg · kg⁻¹) jsme podali po předchozí aplikaci parasympatolytika (atropin, Atropin, Hoechst-Biotika, 0,015 mg · kg⁻¹), jestliže to bylo nutné podle hodnot měření NMT na konci anestezie.

Měření nervosvalového přenosu, statistická podpora

Nervosvalový přenos (NMT – neuromuscular transmission) jsme vyšetřovali vždy na obou horních končetinách současně. U každého nemocného jsme sledovali odpověď *m. adductor pollicis* na stimulaci *n. ulnaris* jednak elektromyograficky (EMG, Datex-Ohmeda S/5™, NMT modul), jednak současně na druhostranné horní končetině i akcelerometricky (ACC, TOF-Watch® SX, Organon). V průběhu anestezie jsme dbali o to, aby teplota v místech monitorování NMT neklesla pod 34 °C a změny výchozí hodnoty kožní teploty nepřesáhly 1 °C.

Po indukci anestezie, ale ještě před podáním kurarimetika, jsme každý z monitorů NMT nechali pro-

vést automatickou kalibraci podle svého vnitřního algoritmu do okamžiku, kdy bylo na obou přístrojích dosaženo stabilních hodnot (TOF-ratio = 100 %, s maximální odchylkou ± 3 %). Poté jsme podali svalové relaxans. Na obou končetinách jsme NMT vyšetřovali souběžně v režimu TOF (train-of-four) supramaximálními impulzy každých 20 sec, s frekvencí jednotlivých impulzů 2 Hz a šíří impulzu 200 μ sec. Údaje naměřené oběma metodami (TOF-ratio = T_4/T_1) byly přenášeny do počítače – buď bezdrátově z monitoru Datex-Ohmeda pomocí systému Relax 2005 [6], nebo optickým kabelem přes sériový port (z přístroje TOF-Watch® SX). Měření NMT jsme ukončili v okamžiku, kdy hodnota TOF-ratio měřená kteroukoli metodou dosáhla 100 %.

Výsledky párových měření TOF-ratio získané oběma technikami (EMG a ACC) byly zpracovány v tabulkovém procesoru Microsoft Excel 2003 včetně statistických výpočtů (párový t-test). Vztah mezi příslušnými měřeními TOF-ratio (TOF_{EMG} vs TOF_{ACC}) byl vyjádřen graficky s určením regresní linie a mezí shody obou metod měření ($\pm 2SD$). Graficky byly zachyceny i rozdíly mezi příslušnými párovými měřeními v závislosti na jejich průměrných hodnotách podle statistické metody podle Blanda a Altmana [7]. Byla určena průměrná difference mezi oběma metodami (bias), její směrodatná odchylka, interval spolehlivosti a meze shody, které definují rozmezí, v němž leží 95 % rozdílů mezi měřeními. Za kritérium dostatečné dekurarizace jsme považovali dosažení TOF-ratio minimálně 90 %.

Z počtu naměřených hodnot TOF-ratio jsme zkonstruovali kontingenční tabulku 2 x 2; z ní jsme pro akcelerometrii vypočetli hodnoty senzitivity, specifity a validity a velikost pozitivní a negativní prediktivní hodnoty při detekci dostatečného zotavení z bloku.

Senzitivita akcelerometrického měření vystihuje schopnost akcelerometrie určit všechny případy, kdy TOF-ratio měřené elektromyograficky přesahuje 90 % (TOF_{EMG} ≥ 90 %). Specifita akcelerometrie pak byla stanovena z počtu akcelerometrických měření nižších než 90 % (TOF_{ACC} < 90 %), která byla získána při současných elektromyografických hodnotách pod 90 % (TOF_{EMG} < 90 %). Validita akcelerometrie udává podíl všech pravdivě pozitivních a negativních výsledků získaných akcelerometricky z celkového počtu měření. Pozitivní prediktivní hodnota akcelerometrie je pravděpodobnost, že je TOF_{EMG} nejméně 90 % u všech případů, kdy TOF_{ACC} ≥ 90 %. Negativní prediktivní hodnota akcelerometrie je pravděpodobnost, že je TOF_{EMG} < 90 % u všech případů, kdy TOF_{ACC} < 90 %.

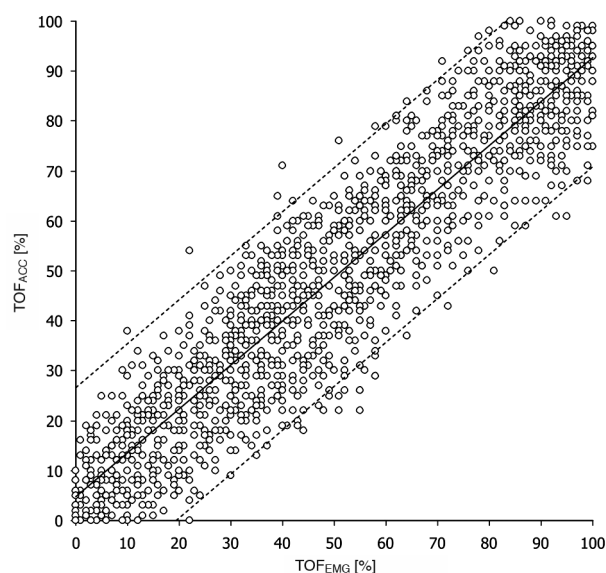
Výsledky

Výše popsanou metodikou jsme vyšetřovali nervosvalový přenos u 50 nemocných. 3 nemocní byli ze studie vyřazeni, protože při akcelerometrickém vyšetření se nám nepodařilo docílit stabilních hodnot

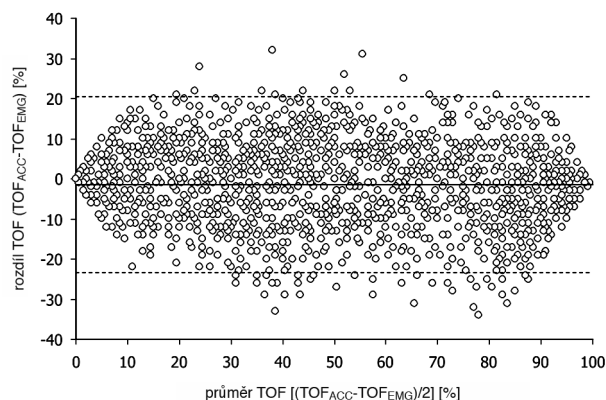
v úvodu měření. Studovaný soubor tedy tvořilo 47 nemocných (27 žen, 20 mužů), od nichž jsme získali 1505 párových měření TOF-ratio (EMG vs ACC).

Průměrný věk byl 51 (SD 14) roků, hmotnost 75 (12) kg, výška 170 (9) cm, BSA 1,88 (0,18) m², BMI 25,67 (3,82) kg.m⁻². Během studie jsme nezaznamenali nežádoucí účinky, které by měly vztah k anestezii nebo měření NMT. Průměrná velikost supramaximálního impulzu u elektromyografie byla 44 (12), u akcelerometrie 41 (11) mA.

Distribuci párových hodnot TOF-ratio (TOF_{EMG} vs TOF_{ACC}) zachycuje obrázek 1. Závislost mezi oběma metodami je možno popsat regresní rovnicí TOF_{ACC} = 0,88 · TOF_{EMG} + 4,79, korelační koeficient = 0,92 ($p < 0,01$). Obrázek 2 (graf podle [7]) graficky znázorňuje difference mezi měřeními získanými ACC a EMG



Obr. 1. Srovnání hodnot TOF-ratio stanovených elektromyograficky (TOF_{EMG}) a akcelerometricky (TOF_{ACC})
Regresní přímka (uprostřed, tučně) s mezemi shody (přerušované).



Obr. 2. Rozdíly mezi měřeními získanými ACC a EMG (TOF_{ACC} – TOF_{EMG}) ve vztahu k průměru těchto hodnot ((TOF_{ACC} + TOF_{EMG})/2)

Přímka uprostřed ukazuje bias rozdílu, přerušované linie vymezují meze shody.

Tabulka 1. Kontingenční tabulka pro výpočet senzitivity, specifity, validity, pozitivní a negativní prediktivní hodnoty akcelerometrie při detekci reziduální kurarizace

	TOF _{EMG} ≥ 90 %	TOF _{EMG} < 90 %	Celkem	
TOF _{ACC} ≥ 90 %	75 ^A	42 ^B	117	PPH 0,64
TOF _{ACC} < 90 %	85 ^C	1303 ^D	1388	NPH 0,94
Celkem	160	1345	1505	
	senzitivita 0,47	specifita 0,97	validita 0,92	

$$\text{senzitivita}_{\text{ACC}} = A/(A+C)$$

$$\text{specifita}_{\text{ACC}} = D/(D+B)$$

$$\text{validita}_{\text{ACC}} = (A+D)/(A+B+C+D)$$

$$\text{PPH pozitivní prediktivní hodnota}_{\text{ACC}} = A/(A+B)$$

$$\text{NPH negativní prediktivní hodnota}_{\text{ACC}} = D/(C+D)$$

(TOF_{ACC} – TOF_{EMG}) ve vztahu k průměru těchto hodnot $([\text{TOF}_{\text{ACC}} + \text{TOF}_{\text{EMG}}]/2)$. Bias (d, průměrná odchylka mezi párovými měřeními TOF-ratio) byla -1,4 % se směrodatnou odchylkou SD 10,9 % a 95% intervalem spolehlivosti $\pm 0,55\%$ (oboustranný t-test, $p < 0,05$). Odpovídající meze shody (rozmezí zahrnující 95 % rozdílů mezi oběma měřeními, $d \pm 2 \text{ SD}$) byly -23,3 % až +20,5 %.

Schopnost akcelerometrie určit zotavení z nervosvalového bloku shrnuje tabulka 1. Senzitivita akcelerometrie při detekci reziduálního bloku dosáhla 47 %, specifita 97 % a validita 92 %.

Diskuse

V naší studii jsme ke klinickému srovnání vybrali dva přístroje různých výrobců s odlišným vyhodnocením svalové odpovědi (EMG vs ACC). V laboratorním testu, který sledoval přesnost a tvar stimulačního impulsu [1], byly tyto přístroje nejlepší ve své kategorii – TOF-Watch® SX mezi akcelerometry, Datex-Ohmeda mezi elektromyografy.

Za „zlatý standard“ monitorování NMT je dnes považována kromě mechanomyografie i elektromyografie. Při této elektrofyziologické metodě není přímo hodnocen pohyb či svalová síla jako odpověď na stimulační impuls. Její podstatou je zachycení, zpracování a kvantifikace svalové elektrické aktivity, která předchází vlastní kontrakci a označuje se jako složený svalový akční potenciál (CMAP – compound muscle action potential).

Nezbytnou podmínkou akcelerometrického měření je volná pohyblivost místa, k němuž je fixován piezoelektrický senzor akcelerometru. Při nejčastěji používané lokalizaci se stimuluje transkutánně *n. ulnaris* v distální části předloktí a vyhodnocuje se addukce palce ruky čidlem, upevněným k distálnímu článku palce. Vše, co interferuje s volným pohybem palce, tak může být zdrojem pohybových artefaktů a negativně ovlivňovat přesnost měření. To může být určitým omezením této metody. Na druhou stranu, přístroj TOF-Watch® SX vyniká pohotovostí, k měření je připraven téměř okamžitě – ke své automatické kalibraci totiž zpravidla nevyžaduje čas přesahující 30 sec.

Při porovnávání obou přístrojů jsme se soustředili především na průběh zotavování z účinku NMB

a index TOF-ratio. Tento ukazatel dobře charakterizuje odeznívání nedepolarizujícího bloku se stanovením stupně únavy na nervosvalové ploténce („fade“) a je tak schopen ozřejmit zbytkovou svalovou relaxaci na konci anestezie. V průběhu některých chirurgických výkonů však často musí být hloubka svalové relaxace vyšší. V sekvenci TOF lze pak detekovat méně než 4 svalové záškuby (TOF-count pod 4) a TOF-ratio není hodnotitelné – hodnota čitatele ve zlomku T_4/T_1 je totiž nulová. Hlubší stupně bloku je tedy nutno kvantifikovat buď pomocí jiných ukazatelů (T_1), nebo využitím odlišných stimulačních vzorců (DBS – double burst stimulation).

Metody použité ke statistickému zpracování byly založeny na dvou premisách:

- Pro první skupinu testů jsme elektromyograficky naměřené hodnoty TOF-ratio považovali za referenční a předpokládali jsme, že přesně odrážejí skutečné hodnoty. Kontrolní skupinu představovala měření získaná pomocí elektromyografie. Při respektování tohoto východiska jsme stanovovali hodnoty senzitivity, specifity, validity i pozitivní a negativní prediktivní hodnotu akcelerometrie při stanovení adekvátnosti zotavení z nervosvalového bloku.
- Východisko pro zbývající testy bylo odlišné. Vychází z předpokladu, že oba způsoby měření (jak elektromyografie, tak akcelerometrie) podléhají experimentální chybě. Skutečná hloubka svalové relaxace zůstává neznámá a údaje získané oběma technikami se jí více či méně blíží. Při statistických výpočtech pracujeme s průměrnými hodnotami příslušných párových měření – metoda podle Blanda a Altmana [7]. Kontrolní skupinu proto tvořily průměrné hodnoty získané oběma metodami.

V písemnictví se srovnáváním vlastností přístrojů pro monitorování NMT zabývalo několik autorů. Ve studiích byla akcelerometrie srovnávána s elektromyografií [8, 9, 10] i mechanomyografií [11, 12, 13, 14, 15], popř. byly sledovány rozdíly v měření dvou akcelerometrických přístrojů různých výrobců [16]. Výsledky těchto prací jsou rozporuplné; pro rozdílnost protokolů nelze navíc závěry korektně porovnávat navzájem. Výsledný korelační koeficient v naší sestavě ($r = 0,92$) ukazuje na těsný vztah mezi akcelerometrií a elektromyografií při měření TOF. V předchozí studii [10] jsme srovnávali akcelerometrický a elektromyografický přístroj téhož výrobce (Datex-

-Ohmeda) – korelace mezi měřeními NMT zde byla o něco těsnější ($r = 0,94$) – rozdíl mezi oběma studii však nepřesáhl hranici statistické významnosti. V této studii byla průměrná odchylka mezi párovými měřeními (bias) nízká ($-1,4\%$), průměrné výsledky dosažené oběma metodami byly podobné. Neznamená to však, že vyšetření oběma metodami jsou bezesbýtku zaměnitelná. K tomu by musely být limity shody obou metod (definující oblast, která zahrnuje 95 % rozdílů mezi párovými měřeními) co nejužší. Výsledky této studie (limity shody $-23,3$ až $+20,5\%$) jsou podobné těm, kterých dosáhli jiní autoři (Viby-Mogensen [2]: -16 až $+22\%$; Dahaba [8]: -28 až $+21\%$; Adamus [10]: -17 až $+18\%$; Kern [11]: -24 až $+28\%$; Motamed [15]: $-12,9$ až $+14,2\%$). Většina těchto prací uzavírá, že obě metody jsou sice rovnocenné v načasování tracheální intubace i posouzení plného zotavení z bloku, ale hodnoty získané odlišnými metodami nelze zaměňovat.

Jak tedy interpretovat tyto údaje?

Limity shody obou metod v naší studii činí přibližně 22 %. 95% pacientů, u nichž akcelerometrické vyšetření zjistí $\text{TOF}_{\text{ACC}} = 90\%$, může mít odpovídající hodnotu TOF_{EMG} mezi 68 a 100 %. Senzitivita akcelerometrie při detekci reziduální kurarizace činila 47 %. Znamená to, že u nemocných bez reziduální kurarizace byla akcelerometrie schopna odhalit tuto absenci zbytkové relaxace pouze ve 47 % případů. Naopak vysoká byla specifická akcelerometrie (97%). To je výhodné, protože tato hodnota vyjadřuje pravděpodobnost, s níž akcelerometrie označí všechny nedostatečně dekurarizované nemocné. Pozitivní prediktivní hodnota akcelerometrie (64 %) udává pravděpodobnost, že dekurarizace nemocného je dostatečná, pokud tak ukazuje akcelerometrie. Negativní prediktivní hodnota akcelerometrie (94 %) pak označuje pravděpodobnost, že nemocný je skutečně ještě relaxovaný, pokud akcelerometrie konstatuje přítomnost reziduálního bloku. Klinické závěry je tedy nutno činit opatrně a s vědomím, co jednotlivé údaje znamenají.

Hlavní pozornost jsme soustředili na schopnost akcelerometrie stanovit adekvátní zotavení z nervosvalového bloku, které je zásadní pro bezpečí nemocného v bezprostředním pooperačním období. Berg et al. [17] prokázali větší množství plicních komplikací v průběhu 6 pooperačních dnů u nemocných, kteří byli předáni z operačního sálu s $\text{TOF} < 70\%$. Podle dnešních znalostí je toto kritérium dostatečného zotavení z bloku dále zpřísněno. Dříve byla za hodnotu adekvátní dekurarizace považováno $\text{TOF-ratio} \geq 70\%$, nyní je doporučená hodnota $\text{TOF-ratio} \geq 90\%$. K této změně vedly především práce Erikssona et al. [18, 19], které prokázaly, že při hodnotách TOF-ratio pod 90 % jsou ještě u nemocného v důsledku reziduálního bloku přítomny funkční změny svalů faryngu a horního jícnu. Ty vedou ke svalové dyskoordinaci s následnou regurgitací a mikroaspiracemi. Druhým patofyziologickým momentem, který se uplatňuje

u reziduální kurarizace, je změna reaktivity chemoreceptorů – u částečně relaxovaného nemocného je sice zachována ventilační odpověď na hyperkapnii, ale snížena na hypoxii. Hypoxický nemocný proto nereaguje na parciální relaxaci odpovídajícím zvýšením ventilace. Ke klinickým známkám dostatečné dekurarizace podle Viby-Mogensena [20] patří:

- schopnost zvednout a udržet hlavu nad podložkou po dobu nejméně 5 s,
- schopnost udržet zvednutou DK nad podložkou po dobu nejméně 5 s,
- konstantní stisk ruky („hand grip test“),
- konstantní síla skusu („tongue depressor test“),
- schopnost vyvinout inspirační tlak vyšší než 5 kPa.

Použití těchto klinických testů však selhává při detekci mělkých, přesto však významných stupňů reziduálního bloku [21]. Ty odhalí pouze přístrojové monitorování NMT [22, 23].

Ve srovnání s taktilními a vizuálními metodami je akcelerometrie spolehlivější v detekci reziduální kurarizace. Ani zkušený pozorovatel totiž často není při použití semikvantitativních metod schopen odlišit relativně vysoký stupeň blokady (TOF-ratio kolem 40 %). Nepřesnost v hodnocení tak může dosáhnout až 45 % [21]. Podle našich výsledků je únava (fade) při TOF_{EMG} pod 90 % detekovatelná s vysokou pravděpodobností i akcelerometricky. Pokud nemonitorujeme nervosvalový přenos, z hlediska bezpečnosti nemocného stojí za úvahu rutinní podání dekurarizace po každé aplikaci nedepolarizujícího kurarimimetika. Standardní adekvátní dávka neostigminu je $0,04 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$. V tomto množství nezvyšuje incidenci PONV (postoperative nausea and vomiting) [24, 25], ani neohrožuje pevnost střešní anastomózy zvýšením motility. Pokud se chceme na konci anestezie vyhnout jeho aplikaci (např. u astmatiků nebo kardiálně limitovaných nemocných), indikace pro monitorování NMT se stává ještě naléhavější.

Pokud je dostupný přístroj pro měření nervosvalového přenosu, je vhodné ho použít vždy při aplikaci nedepolarizujícího kurarimimetika. Podle Sorgenfreia et al. [26] opomenutí měřit hloubku nervosvalového bloku (obzvláště máme-li k dispozici přístrojové vybavení) představuje v tomto případě substandardní péči a hraničí s postupem *non lege artis*.

Závěr

Akcelerometrie při měření nervosvalového přenosu dospěla v přístroji TOF-Watch® SX do stadia spolehlivého klinického nástroje. I když nelze hodnoty jí získané zaměňovat s elektromyografickými výsledky, je schopna s přijatelnou přesností detekovat reziduální kurarizaci na konci anestezie. Pohotová kalibrace, rychlost nastavení a reprodukovatelnost výsledků činí z přístroje TOF-Watch® SX vhodný monitor svalové relaxace pro běžnou každodenní anesteziologickou praxi.

Literatura

1. Adamus, M., Adamus, P., Bělohlávek, R., Ludma, M., Hropko, P. Test přístrojů používaných v České republice k monitorování nervosvalového přenosu v anesteziologii. *Anest. intenziv. Med.*, 2006, 17, s. 145–155.
2. Viby-Mogensen, J., Jensen, E., Werner, M., Kirkegaard Nielsen, H. Measurement of acceleration: a new method of monitoring neuromuscular function. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 1988, 32, p. 45–48.
3. Herold, I. *Svalová relaxancia v anesteziologii a intenzivní péči*. 1. vydání. Praha : Maxdorf 2004, 268 s., ISBN 80-7345-025-9.
4. References and formulas used by the Body Surface Area Calculator. Formula for Body Mass Index. Formulas for Body Surface Area [on line] [citováno 18. září 2006] Dostupné z [www http://www.halls.md/body-surface-area/refs.htm](http://www.halls.md/body-surface-area/refs.htm).
5. Servin, F., Cazalaa, J. B., Levron, J. C. *Propofol, Sufentanil, Remifentanil in TCI. Bibliographical study of anesthetic agents used in the Base Primea®*, Fresenius Vial 2003.
6. Adamus, M., Belohlavek, R. Fuzzy control of neuromuscular block during general anesthesia – system design, development and implementation. *International Journal of General Systems*, 2006, v tisku.
7. Bland, J. M., Altman, D. G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, 1986, 1, p. 307–310.
8. Dahaba, A. A., Rehak, P. H., List, W. F. Assessment of accelerography with the TOF-Guard: a comparison with electromyography. *Eur. J. Anaesthesiol.*, 1997, 14, p. 623–629.
9. Nakata, Y., Goto, T., Saito, H., Ichinose, F., Uezono, S., Suwa, K., Morita, S. Comparison of acceleromyography and electromyography in vecuronium-induced neuromuscular blockade with xenon or sevoflurane anesthesia. *J. Clin. Anesth.*, 1998, 10, p. 200–203.
10. Adamus, M. Akcelerometrie při detekci reziduální blokady nervosvalového přenosu. *Anest. neodklad. Péče*, 2000, 11, s. 206–210.
11. Kern, S. E., Johnson, J. O., Westenskow, D. R., Orr, J. A. An Effectiveness Study of a New Piezoelectric Sensor for Train-of-Four Measurement. *Anesth. Analg.*, 1994, 78, p. 978–982.
12. Kirkegaard-Nielsen, H., Helbo-Hansen, H. S., Lindholm, P., Pedersen, H. S., Severinsen, I. K., Schmidt, M. B. New equipment for neuromuscular transmission monitoring: a comparison of the TOF-Guard with the Myograph 2000. *J. Clin. Monit. Comput.*, 1998, 14, p. 19–27.
13. Dahaba, A. A., von Klobucar, F., Rehak, P. H., List, W. F. Comparison of a new piezoelectric train-of-four neuromuscular monitor, the ParaGraph, and the Relaxometer mechanomyograph. *Br. J. Anaesth.*, 1999, 82, p. 780–782.
14. Dahaba, A. A., von Klobucar, F., Rehak, P. H., List, W. F. The neuromuscular transmission module versus the relaxometer mechanomyograph for neuromuscular block monitoring. *Anesth. Analg.*, 2002, 94, p. 591–596.
15. Motamed, C., Kirov, K., Combes, X., Duvaldestin, P. Comparison between the Datex-Ohmeda M-NMT module and a force-displacement transducer for monitoring neuromuscular blockade. *Eur. J. Anaesthesiol.*, 2003, 20, p. 467–469.
16. Pelgrims, K., Vanacker, B. Comparative study of the TOF-ratio measured by the ParaGraph versus the TOF-Guard, with and without thumb repositioning. *Acta Anaesthesiol. Belg.*, 2001, 52, p. 297–300.
17. Berg, H., Roed, J., Viby-Mogensen, J., Mortensen, C. R., Engbaek, J., Skovgaard, L. T., Kristel, J. J. Residual neuromuscular block is a risk factor for postoperative pulmonary complications. A prospective, randomised, and blinded study of postoperative pulmonary complications after atracurium, vecuronium and pancuronium. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 1997, 41, p. 1095–1103.
18. Eriksson, L. I., Lennmarken, C., Wyon, N., Johnsson, A. Attenuated ventilatory response to hypoxaemia at vecuronium-induced partial neuromuscular block. *Acta Anaesthesiol. Scand.*, 1992, 36, p. 710–715.
19. Eriksson, L. I., Sundman, E., Olsson, R. et al. Functional assessment of the pharynx at rest and during swallowing in partially paralyzed humans: simultaneous videomanometry and mechanomyography of awake human volunteers. *Anesthesiology*, 1997, 87, p. 1029–1031.
20. Viby-Mogensen, J. Postoperative residual curarization and evidence-based anaesthesia. *Br. J. Anaesth.*, 2000, 84, p. 301–303.
21. Greer, R., Harper, N. J., Pearson, A. J. Neuromuscular monitoring by intensive care nurses: comparison of acceleromyography and tactile assessment. *Br. J. Anaesth.*, 1998, 80, p. 384–385.
22. Debaene, B., Plaud, B., Dilly, M. P., Donati, F. Residual paralysis in the PACU after a single intubating dose of non-depolarizing muscle relaxant with an intermediate duration of action. *Anesthesiology*, 2003, 98, p. 1042–1048.
23. Eikermann, M., Groeben, H., Husing, J., Peters, J. Accelerometry of adductor pollicis muscle predicts recovery of respiratory function from neuromuscular blockade. *Anesthesiology*, 2003, 98, p. 1333–1337.
24. Hovorka, J., Korttila, K., Nelskyla, K., Soikkeli, A., Sarvela, J., Paatero, H., Halonen, P., Yli-Hankala, A. Reversal of neuromuscular blockade with neostigmine has no effect on the incidence or severity of postoperative nausea and vomiting. *Anesth. Analg.*, 1997, 85, p. 1359–1361.
25. Cheng, C. R., Sessler, D. I., Apfel, C. C. Does neostigmine administration produce a clinically important increase in postoperative nausea and vomiting? *Anesth. Analg.*, 2005, 101, p. 1349–1355.
26. Sorgenfrei, I. F., Viby-Mogensen, J., Swiatek, F. A. Does evidence lead to a change in clinical practice? Danish anaesthetists' and nurse anaesthetists' clinical practice and knowledge of postoperative residual curarization. *Ugeskrift for laeger*, 2005, 167, p. 3878–3882.

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

Poděkování: Autoři děkují Ing. Josefu Zákravskému (Hoyer, Praha, s. r. o.) a Mgr. Vladimíru Šrekovi (Fresenius Medical Care, Česká republika, s. r. o.) za podporu a technickou pomoc při realizaci studie.

Došlo 7. 10. 2006.

Přijato 15. 10. 2006.

Adresa pro korespondenci:
MUDr. Milan Adamus, Ph.D.
Kaštanová 11
772 00 Olomouc
e-mail: milan.adamus@seznam.cz